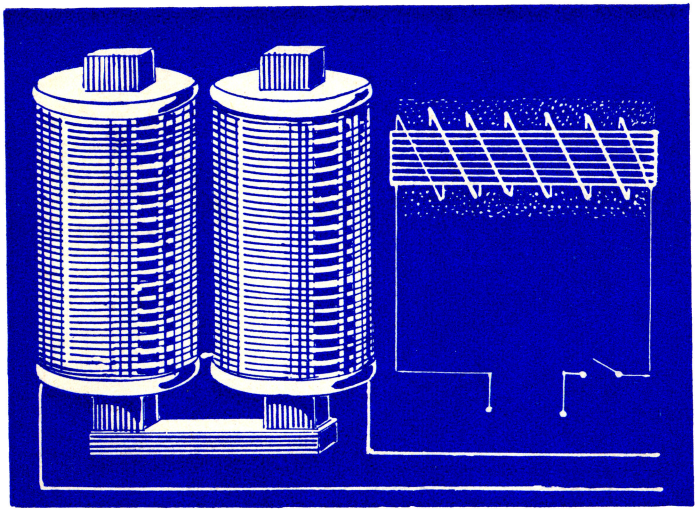
G. RIPPO

3ª Edizione ampliata

CALCOLO E COSTRUZIONE DELLE ELETTROCALAMITE

28 Esempi di calcolo - 48 Figure



G. LAVAGNOLO
Editore - Torino

GIOSUE' GINO RIPPO
g. a. ingegnere elettrotecnico dell'A. E. G. - T. H.

Calcolo e costruzione
delle
elettrocalamite

con 49 figure
12 tabelle
26 esempi

G. LAVAGNOLO
Casa Editrice dei Mestieri e Professioni
delle Industrie e Scienze
TORINO

Proprietà letteraria riservata

S. T. COTTOLENGO - PINEROLO

INDICE DEI PARAGRAFI

		Pag.
1.	A cosa serve l'elettrocalamita	8
2.	Magnetismo e calamite	9
3.	Forma e proprietà delle calamite	11
4.	Induzione - Campo magnetico - Linee di forza	12
5.	Forza smagnetizzante e magnetizzante	12
6.	Permeabilità magnetica - Penetrazione del magnetismo	17
7.	Magnetizzazione con la corrente elettrica	19
8.	Solenoide	23
9.	Elettrocalamita	24
10.	Flusso magnetico e flusso d'induzione	25
11.	Circuito magnetico - Riluttanza	28
12.	Magnetismo residuo	30
13.	Massa magnetica - Forza di attrazione e ripulsione	31
14.	Sfericità del campo magnetico	32
15.	Forza attrattiva e portante delle calamite - Interferro	32
16.	Forza succhiante dei solenoidi	39
17.	Correnti di eccitazione - Forza magneto-motrice	41
18.	Calcolo delle amperspire per campi H	43
19.	Calcolo delle amperspire per campi B	44
20.	Consumo di energia nell'elettrocalamita	48
21.	Correnti di Foucault	49
22.	Extracorrente - Selfinduzione	49
23.	Isteresi magnetica	51
24.	Magnetizzazione con la corrente alternata	53
25.	Costruzione del nucleo - Giunti magnetici	61
26.	Calcolo dell'avvolgimento elettrico	64
27.	Materiali isolanti	85
28.	Costruzione dell'avvolgimento	89
29.	Calcolo del peso dell'elettrocalamita	98
30.	Esempi di calcolo	101
31.	Elettrocalamite succhianti	119
32.	Elettrocalamite per ricalamitare i magneti	122
33.	Elettrocalamite per dilettanti	122
34.	Esempi di forme di esecuzione	123

TABELLE

	Pag.
Simboli adoperati	7
Valore dell'intensità di magnetizzazione H	27
Valore del flusso d'induzione B	27
Valore della permeabilità μ	27
Valore della forza attrattiva F - Forza portante in corrispondenza a B per cm.	34
Valore *a* delle amperspire $N \times i$ per ogni cm. di lunghezza del circuito magnetico in funzione di B	45
Valore coefficiente *h* per i giunti magnetici in funzione di B	46
Valore di *q* per le perdite di isteresi in funzione di B	52
Temperature negli avvolgimenti	67
Corrente di fusione nei fili di rame	69
Diametro, sezione, peso e resistenza dei fili di rame	74
Diametro dei fili coperti per avvolgimenti	77

PREFAZIONE

Dopo la scoperta della pila, la principale applicazione dell'elettricità fu quella del telegrafo e del campanello elettrico, mediante l'applicazione dell'elettrocalamita.

Col passare degli anni quest'applicazione è andata sempre più aumentando ed oggi noi troviamo in mille e mille apparecchi un'elettrocalamita, sia per far spostare un ago, con uno sforzo di un centesimo di grammo, sia per attirare un peso di diverse tonnellate.

Ogni elettricista pensando alla costruzione di qualche apparecchio di sua ideazione: per una segnalazione, per aprire a distanza una porta, per far scattare un interruttore o per qualsiasi altro scopo per cui serve una elettrocalamita, si sarà domandato:

Come si calcola e si costruisce?

A questa domanda risponde questo volumetto. L'ho compilato con la lusinga di far cosa grata a quegli operai elettricisti che non hanno potuto frequentare un corso di lezioni teoriche di costruzioni elettromeccaniche.

Ho creduto opportuno esporre quelle nozioni generali necessarie a conoscersi, o a ricordarsi, per ben rendersi l'idea del funzionamento e della costruzione dell'elettrocalamita.

Le formole matematiche sono ridotte a quelle elementari di aritmetica che ogni operaio sa leggere *e molte tabelle ed esempi agevoleranno il lettore mettendolo in grado di calcolare e costruire l'elettrocalamita che egli vuol far funzionare per un dato scopo.*

GIOSUÈ GINO RIPPO.

TABELLA N. 1.

Simboli adoperati

Nel circuito magnetico	Nel circuito elettrico
Φ = flusso	R = resistenza magnetica
H = intensità di magnetizzazione	N = numero delle spire
B = Induzione	i = intensità della corrente continua in ampère
μ = permeabilità	I = intensità efficace della corrente alternata in ampère
l = lunghezza in cm.	V = tensione in volt
S = sezione in cmq.	R = resistenza ohmica
F = forza magnetica in Kg.	Z = impedenza
a = ampèrspire per cm^2 in relazione a B	v = perdita di tensione
h = coefficiente di aggiunta per giunti magnetici	L = induttanza
	s = sezione filo in mmq.
	f = frequenza in periodi

1. - A che cosa serve l'elettrocalamita.

Una elettrocalamita la troviamo in centinaia di apparecchi elettrici: nelle suonerie, nel telegrafo, negli interruttori automatici, per lo scatto a massima corrente, per l'apertura e la chiusura a distanza; in apparecchi di protezione e di sicurezza, sia per agire direttamente, sia per dare un'allarme; la troviamo applicata alle gru per innalzamento di pesi; la troviamo applicata nella trazione elettrica, come freno elettromagnetico; la troviamo nei platò e nei mandrini magnetici; la troviamo in cento altre applicazioni.

L'elettrocalamita funziona con corrente continua ed alternata.

Per alcune applicazioni l'avvolgimento si trova continuamente sotto tensione; per altre applicazioni la corrente vi viene immessa per farla funzionare mediante chiusura di interruttore, sia a mano, sia a mezzo di altra elettrocalamita più piccola.

Dovendo costruire un'elettrocalamita occorre calcolarla in modo che soddisfi alle seguenti condizioni;

1) Deve poter funzionare con la corrente di cui si dispone, sia continua, sia alternata, naturalmente ad una tensione ammissibile, non oltre i 260 volt, in caso contrario la tensione si abbasserà mediante un'adatta resistenza oppure un trasformatore.

2) Deve esercitare sulla sua armatura, o sul suo nucleo trattandosi di un selenoide, la voluta attrazione alla distanza fissata.

3) Deve consumare la minima quantità di energia e non deve riscaldare oltre il limite ammesso.

4) La sezione del filo di avvolgimento deve essere stabilita in relazione dell'intensità della corrente tenendo

conto del tempo in cui la bobina deve essere lasciata sotto corrente e cioè a seconda che essa debba agire continuamente o debba funzionare con intermittenza.

5) L'isolamento dell'avvolgimento deve essere curato e calcolato in relazione alla tensione della corrente di alimentazione.

2. - Magnetismo e calamite.

L'ossido ferroso ferrico (Fe^3 O^4) è un materiale che ha la proprietà di attirare molto sensibilmente il ferro e l'acciaio e debolmente alcuni altri corpi, quali il nichelio, il cobalto, il platino, il manganese, il cromo.

Questo fenomeno di attrazione, noto da epoca remota, venne chiamato *magnetismo* ed il materiale che possiede la forza di attrarre venne chiamato *magnetite.*

I corpi che non sono attratti dal magnetismo si chiamano *diamagnetici*; essi sono *trasparenti* per il magnetismo, cioè lo lasciano passare attraverso di essi. Nessun corpo è *isolante* rispetto al magnetismo.

I principali materiali diamagnetici sono: lo zinco, il rame, l'ottone, lo stagno, il piombo, il mercurio, l'acqua, l'aria e quasi tutti i materiali che sono isolanti per l'elettricità.

Il ferro ed i suoi derivati (1) hanno la proprietà di acquistare artificialmente la medesima proprietà della magnetite.

---

(1) Le qualità magnetiche del ferro dipendono dalla percentuale di carbonio contenuta: ferro contenente 0,1 a 2% di carbonio si dice acciaio; ferro contenente 2 a 4,5% di carbonio si dice ghisa; ferro contenente 0,8% di carbonio, dall'8 al 10% di tungsteno e 1 a 2% di vanadio si dice acciaio rapido.

Il ferro possiede qualità magnetiche assai forti; il ferro duttile e la ghisa possono essere magnetizzati solo temporaneamente, l'acciaio invece assume una magnetizzazione permanente.

La magnetizzazione artificiale si esegue:

1) mediante il contatto con una calamita naturale;

2) mediante lo strofinìo con un'altra calamita andando sempre nel medesimo senso, senza tornare indietro;

3) facendo circolare attorno al materiale da calamitare una corrente elettrica continua.

Il materiale così magnetizzato si chiama *calamita.*

L'attrazione tra il ferro e la calamita è reciproca, cioè il ferro va ad attaccarsi alla calamita o questa a quello secondo la maggiore mobilità dell'uno o dell'altra.

La forza con la quale una calamita attrae un pezzo di ferro non è uguale in tutti i suoi punti, ma è massima verso gli estremi e decresce fino a diventar nulla nel mezzo.

Infatti, immergendo un magnete prismatico nella limatura di ferro questa aderisce ad esso solamente all'estremità, dove forma dei grossi ciuffi, come si vede nella figura 1.

La parte centrale ove la limatura di ferro non aderisce si chiama ZONA NEUTRA; le parti estreme ove la limatura di ferro aderisce si dicono POLI.

Ogni magnete è costituito da due poli: il polo NORD ed il polo SUD.

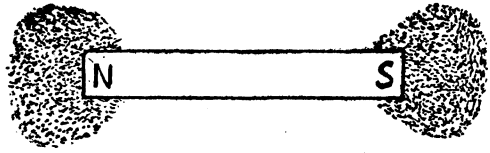


Fig. 1.

I poli di due o più calamite si chiamano *Omonimi* quando hanno lo stesso nome (ad esempio due poli Nord) e si chiamano *Eteronimi* quando hanno nome diverso (ad esempio un Nord e un Sud).

3. - Forma e proprietà delle calamite.

Se abbiamo due calamite NS e N^1S^1 a forma di prisma (fig. 2) ciascuna di queste calamite ha due poli, mentre le regioni $m\,n$ ed $m^1\,n^1$ sono le loro zone neutre.

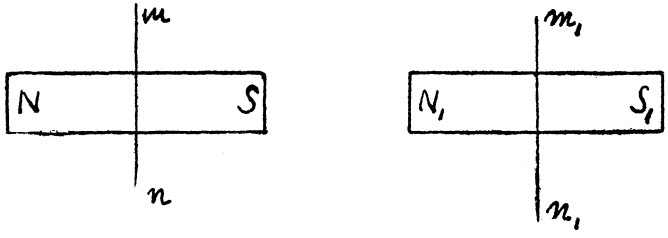


Fig. 2.

Se noi mettiamo a contatto i poli $S\,N^1$ delle due calamite, in modo da formare una sbarra sola, avremo una

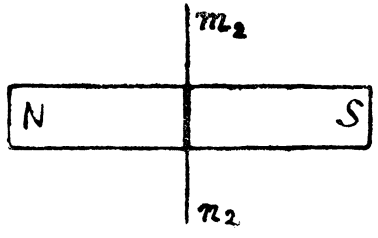


Fig. 3.

sola calamita nella quale troveremo solamente due poli N S^1 (fig.3) e la zona neutra si porterà in $m_2 n_2$ mentre il magnetismo di ciascun polo viene rafforzato.

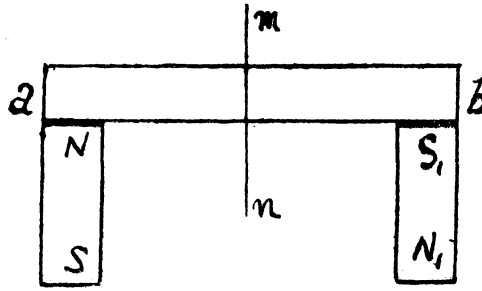


Fig. 4.

Se disponiamo queste due calamite come mostra la figura 4 e mettiamo a contatto i poli N ed S^1 con una sbarra di ferro dolce *a b* avremo ugualmente una sola calamita i cui poli saranno S N^1 la cui intensità magnetica sarà rafforzata nelle regioni S N^1 e andrà diminuendo verso *a* e verso *b* fino a diventar nulla nella zona neutra *m n*.

4. - Induzione. - Campo magnetico. - Linee di forza.

Il ferro ed i suoi derivati avvicinati ad una calamita si magnetizzano ed in modo che i poli affacciati sono sempre eteronimi, figura 5, pur non essendovi contatto tra essi.

Fig. 5.

Questo fenomeno di magnetizzazzione a distanza di chiama INDUZIONE MAGNETICA.

Essa è la causa per cui le calamite attraggono la limatura di ferro, perchè ogni granellino diventa per induzione un piccolo magnete e quindi le attrazioni avvengono tra le loro masse magnetiche.

Lo spazio in cui una calamita fa sentire la sua azione si chiama CAMPO MAGNETICO.

In un punto di un campo magnetico un polo magnetico è attratto o respinto con una certa forza ed in una certa direzione.

L'intensità di questa forza e la direzione misurano e determinano l'intensità e la direzione del campo in quel punto.

Supponiamo che in un punto A, figura 6, il polo magnetico *h* sia spinto secondo la direzione A B; nel punto A' situato sull'A B e prossimo ad H, lo stesso polo *h* sia

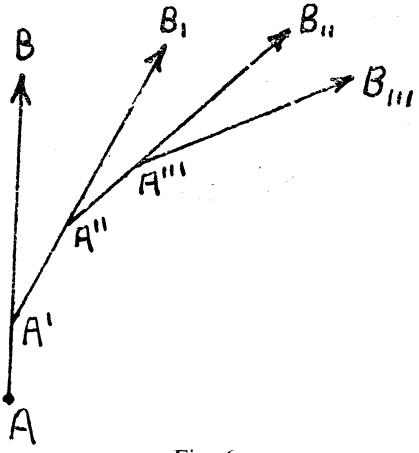


Fig. 6.

spinto secondo la direzione A' B'; nel punto A", situato sull'A' B' e prossimo ad A', questo stesso polo sia spinto nelle direzione A" B" e così di seguito.

Si dice LINEA DI FORZA la curva formata dall'unione dei punti A A' A" A"' A"" ... lungo la quale si muoverebbe il polo di intensità *h*, oppure qualunque altro polo d'intensità *x*, il quale fosse originariamente nel punto A.

Le linee di forza di ogni punto seguono la direzione del campo o la direzione della forza che spingerebbe un polo magnetico per l'azione delle calamite circostanti.

Le linee di forza all'esterno delle calamite partono dal polo Nord e vanno verso il polo Sud.

Le linee di forza che hanno il medesimo senso, che sono cioè derivanti da uno stesso polo o da poli omonimi, si respingono; se hanno senso opposto si attraggono.

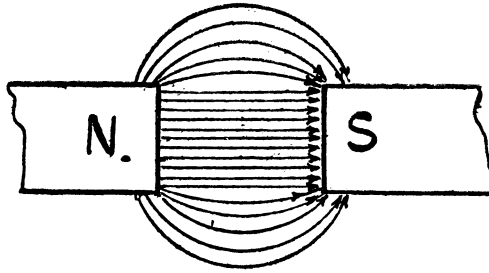


Fig. 7.

Le linee di forza tendono a seguire il cammino magneticamente più breve (fig. 7).

Le linee di forza tendono di preferenza ad attraversare i corpi magnetici posti nel campo (fig. 8).

In ogni calamita le linee di forza partono dal polo Nord e si dirigono al polo Sud.

Per direzione + (positiva) delle linee di forza si assumono quelle dirette dal polo Nord al polo Sud.

Un fascio di linee di forza si chiama FLUSSO MAGNETICO *e si indica con la lettera greca* Φ (pronunzia fi).

Un campo magnetico si dice UNIFORME *quando la sua intensità e direzione sono ovunque costanti.*

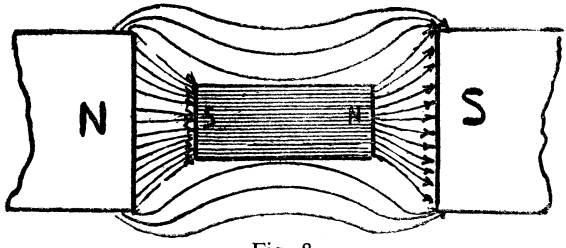


Fig. 8.

5. - Forza smagnetizzante e magnetizzante.

Disponiamo una sbarra di ferro dolce S N in un campo uniforme in modo che l'asse O P della stessa sbarra (fig. 9) sia parallelo alla direzione di questo campo.

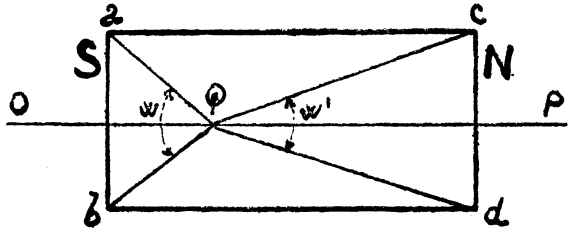


Fig. 9.

Questa sbarra viene magnetizzata per induzione producendo alle sue basi *a b* e *c d* (poli) due distribuzioni di magnetismo libero.

In un punto qualunque Q dell'asse O P abbiamo una forza del campo magnetico ed una forza dovuta al magnetismo dei due poli *a b* e *c d* la cui direzione è contraria a quella del campo e perciò tende ad opporsi all'azione di esso.

Questa forza aumenta coll'aumentare dell'ampiezza degli angoli solidi W e W' (2), formati congiungendo il punto Q con gli angoli delle basi *a b* e *c d*.

---

(2) Angolo solido (angolo angoloide o poliedro) è la figura formata da più piani che vanno ad incontrarsi in uno stesso punto (detto vertice dell'angoloide). I piani che lo formano diconsi

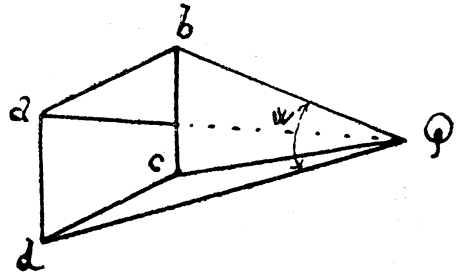


Fig. 10.

facce e le rette d'intersezione *spigoli*. Un angolo solido deve essere formato almeno da tre facce, però può anche essere formato da una superficie conica. Per nominare un angolo solido si annuncia prima la lettera del vertice e poi quelle di ciascun lato. Così l'angolo solido W è formato nella figura 10 da *Q a b c d*.

Essa si chiama *forza smagnetizzante,* perchè tende ad annullare nella sbarra di ferro il magnetismo in esso prodotto dal campo magnetico nel quale è immersa.

Lo stesso accade in una sbarra di ferro calamitata, perchè in questo caso è la sbarra che produce un campo di direzione parallela all'asse O P, e nel punto Q abbiamo ugualmente le due forze che tendono a neutralizzarsi.

E' per questa ragione che le calamite artificiali perdono coll'andar del tempo il loro magnetismo.

La forza che effettivamente agisce sul magnete è data dall'intensità del campo esterno diminuita della forza smagnetizzante. Alla risultante si dà il nome di *forza magnetizzante* la quale dipende dalla forma del corpo.

In pratica si riesce a rendere minima la forza smagnetizzante chiudendo la calamita ad anello in modo che i poli siano vicinissimi.

Si aumenta ugualmente la portata del magnete con la costruzione detta a corazza o a mantello con una sola bobina centrale.

6. - Permeabilità magnetica. - Penetrazione del magnetismo.

Se portiamo in un campo magnetico uniforme (fig. 7) una sbarra di ferro dolce (fig. 8) essa si magnetizza assumendo una polarità nel senso del campo magnetico; le linee di forza si addensano nella sbarra di ferro come se trovassero attraverso di essa un cammino più facile.

Questa proprietà che hanno i materiali magnetici si dice *permeabilità magnetica.*

Questo fenomeno di concentrazione delle linee di forza attraverso un pezzo di ferro introdotto nel campo ma-

gnetico ci dimostra che il ferro è più permeabile dell'aria.

Un materiale magnetico è tanto più permeabile quanto più facilmente si calamita; il ferro dolce si magnetizza meglio di tutti, il ferro crudo, l'acciaio e la ghisa si magnetizzano più difficilmente.

Se introduciamo in un campo magnetico un tubo di ferro, le linee di forza tendono (fig. 11) a seguire il cammino attraverso la corona del tubo senza penetrare nell'interno.

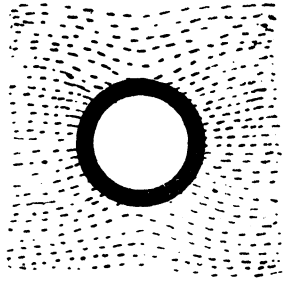


Fig. 11.

Il magnetismo penetra ugualmente nell'interno delle masse di materiale magnetico.

Nel ferro dolce la penetrazione è minima così che usando una massa abbastanza spessa nell'interno di essa non vi è magnetismo.

La profondità della penetrazione del magnetismo dipende pure dall'intensità della forza magnetizzante e perciò in un campo di debole intensità una sbarra di ferro massiccia acquista la medesima magnetizzazione di un tubo.

La permeabilità è quindi una resistenza del materiale magnetico la quale cresce col crescere del flusso Φ, ma

giunta ad un certo limite non permette una maggiore induzione.

Questa resistenza magnetica (che varia col variare del flusso nei materiali magnetici) si mantiene costante nell'aria.

Per questa ragione la permeabilità dell'aria si è chiamata PERMEABILITA' SPECIFICA, le si è dato il valore 1 e viene presa come unità di misura.

Noi la indicheremo con la lettera μ.

Il valore della permeabilità per i materiali magnetici è maggiore di 1.

La permeabilità non subisce influenza con la temperatura fino ad oltre 500°.

7. - Magnetizzazione con la corrente elettrica.

Una corrente elettrica passante per un conduttore genera attorno ad esso un campo magnetico il quale si dice CAMPO ELETTROMAGNETICO.

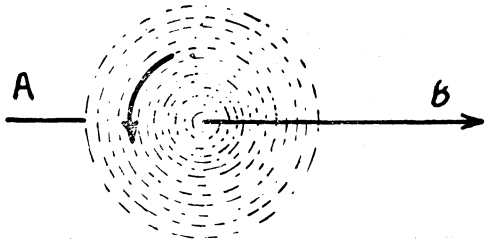


Fig. 12.

Le linee di forza di un campo elettromagnetico generato da un conduttore rettilineo A B (fig. 12) sono for-

mate da circoli concentrici col conduttore e disposti in piani perpendicolari ad esso conduttore.

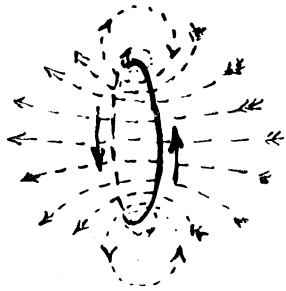


Fig. 13.

Le linee di forza prodotte da un campo generato da una corrente che percorre un conduttore circolare sono chiuse e concatenate col circuito elettrico, come si vede nella figura 13.

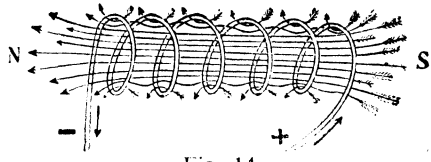


Fig. 14.

Un circuito avvolto a spirale genera un campo elettromagnetico, le cui linee di forza sono analoghe (fig. 14) a quelle che si avrebbero all'esterno di un magnete cilindrico ed il loro senso è dato dalla seguente regola di Faraday:

Le linee di forza entrano dalla parte della spira davanti alla quale occorre mettersi per « vedere » la corrente circolare nelle spire nel senso delle lancette di un orologio.

Quest'esempio si vede tracciato nello schema della figura 15.

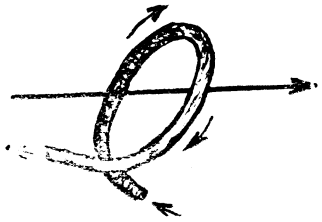


Fig. 15.

Con la figura 16 vediamo come si comportano le linee di forza in due conduttori rettilinei e paralleli percorsi da correnti dirette nello stesso senso; nello spazio compreso

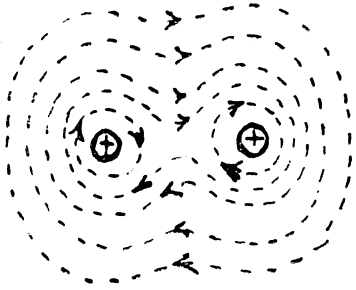


Fig. 16.

tra i due conduttori le linee di forza hanno direzione opposta e perciò si attraggono combinandosi in curve allungate.

Nella figura 17 invece le correnti percorrono in senso contrario i due conduttori e quindi nello spazio compreso tra essi le linee di forza hanno la medesima direzione e perciò si respingono.

Avvolgendo a spire un conduttore sopra un cilindro si forma un SOLENOIDE.

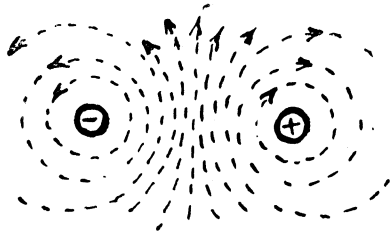


Fig. 17.

a) *Un solenoide, sospeso o messo in bilico in modo da poter ruotare, si orienta allo stesso modo di un ago magnetico.*

b) *Ogni solenoide ha nelle estremità due poli di nome contrario.*

c) *Dividendo in due o più parti un solenoide ogni parte forma a sua volta un solenoide, allo stesso modo che dividendo un magnete in più parti, ciascuna parte forma un magnete.*

d) *I poli omonimi di due solenoidi si respingono, quelli eteronimi si attraggono.*

e) *Tra un polo di un solenoide ed un polo di una calamita si hanno le stesse azioni che si hanno tra i poli di due calamite o tra i poli di due solenoidi.*

8. - Solenoide.

Quando sopra un'anima o ROCCHETTO fatta con legno, cartone o con qualunque altro materiale che si adopera come isolante dell'elettricità, od anche con metallo non magnetico, come rame, ottone, ecc., avvolgiamo ad elica, in uno o più strati, del filo conduttore isolato, formiamo una BOBINA che forma un SOLENOIDE perchè il campo magnetico prodotto da essa bobina, quando il conduttore è percorso dalla corrente, è uguale a quello prodotto da un solenoide.

Le bobine possono essere di sezione circolare, rettangolare o quadrata.

9. - Elettrocalamita.

Un'elettrocalamita, detta pure elettromagnete, è formata da un *nucleo* di ferro dolce infilato in un *solenoide*.

La polarità che acquista il nucleo dipende dal senso di avvolgimento del filo e dalla direzione della corrente; essa può essere determinata con diverse regole, delle quali ne consigliamo una che ci sembra possa essere più ricordata (fig. 18).

Per sapere come deve circolare la corrente attorno ai due poli nord e sud basta applicare una freccia a ciascun estremo delle lettere N ed S. Queste frecce segnano senz'altro la direzione della corrente.

Nelle elettrocalamite a ferro di cavallo, il senso di avvolgimento del filo sui rocchetti deve essere opposto in modo da avere all'estremità poli eteronimi.

La parte priva di avvolgimento, la quale si chiama GIOGO, può essere di qualsiasi forma e può essere pure di ghisa.

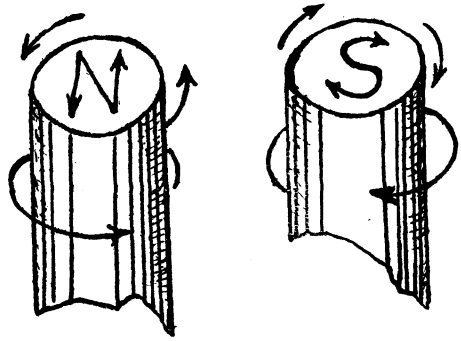


Fig. 18.

Se un elettromagnete ha due avvolgimenti sovrapposti ed uguali, i quali sono percorsi da correnti uguali ed opposte, questi due avvolgimenti producono evidentemente due campi uguali ed opposti e perciò il nucleo non si magnetizza.

Se invece le due correnti non sono uguali, i due avvolgimenti producono due campi opposti e di differente intensità e sul nucleo agisce un campo risultante dalla differenza di essi e che ha la medesima direzione del campo più intenso.

Se invece i due avvolgimenti sono differenti, ad esempio uno formato da poche spire di grosso filo e l'altro formato da moltissime spire di filo sottilissimo ed essi vengono percorsi da due correnti differenti, ma dirette nello stesso senso, sul nucleo agisce un campo risultante dalla somma dei campi prodotti dalle due correnti.

Si dice *armatura* di un'elettrocalamita la sbarra di ferro dolce che deve essere attratta.

10. - Flusso magnetico e flusso d'induzione.

Abbiamo detto che un campo magnetico è formato da un fascio di linee di forza che partendo dal polo Nord arrivano al polo Sud, (fig. 7), e che esse formano il flusso Φ.

Ma abbiamo un'altro flusso ed è quello dovuto alle linee di forza che si producono quando noi mettiamo un pezzo di ferro nel flusso Φ (fig. 8) il quale si dice *flusso di induzione.*

Nell'indicare il numero delle linee di forza ci riferiamo all'unità di sezione (un cmq.).

L'unità di campo magnetico è di una linea per cmq. e si chiama GAUSS.

Il numero delle linee di forza che passano per un cmq. misurano l'intensità.

Noi abbiamo quindi a considerare due intensità:

quella dovuta al flusso Φ nell'aria (fig. 7) che indicheremo con H;

quella dovuta al flusso d'induzione (fig. 8) che indicheremo con B.

Tra queste due intensità abbiamo la seguente relazione:

$$B = \mu \times H$$

dove μ è la permeabilità del materiale (N. 6).

Il valore di B si esprime col numero delle linee di forza interne al ferro per cmq.

I valori di H e di B si rappresentano con delle curve per i diversi materiali magnetici, dette *curve di magnetizzazione.*

Riferiamoci a due assi coordinati (3) prendendo per ascisse i valori di H e per ordinate i valori di magnetizzazione e nel secondo caso la curva d'induzione.

La curva dei materiali magnetici che si adoperano per la costruzione degli elettromagneti ha una forma simile;

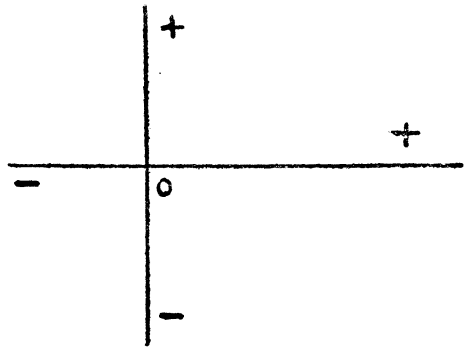


Fig. 19.

nel primo tratto la curva di magnetizzazione parte dall'origine (fig. 20) poi si ripiega rivolgendo la sua concavità in alto e sale rapidamente poi si ripiega tendendo a diventare quasi parallela all'asse delle ascisse. I valori relativi dipendono dalla qualità del materiale; così quelli del ferro sono diversi da quelli della ghisa e dell'acciaio. Nell'acciaio questi valori variano pure con la struttura del materiale.

Anche la curva dell'induzione ha un massimo, raggiunto il quale con variazioni grandi di intensità di magnetizzazione H, la induzione B varia insensibilmente.

---

(3) Si chiamano assi coordinati due assi perpendicolari tra loro; quello orizzontale si chiama *asse delle ascisse*, l'altro verticale si chiama *asse delle ordinate* (fig.19). L'incontro degli assi si chiama *origine degli assi.*

Si è convenuto di assumere come valori positivi (+) quelli da 0 verso destra per le ascisse e da 0 verso l'alto per le ordinate; come valori negativi (—) quelli da zero verso sinistra per le ascisse e da 0 verso il basso per le ordinate.

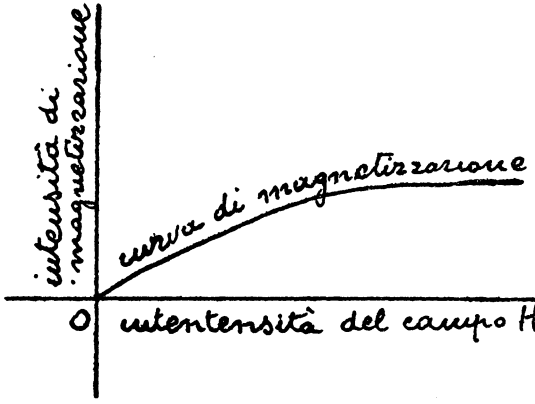


Fig. 20.

Oltre questo punto della curva si ha la SATURAZIONE MAGNETICA, cioè non è più possibile magnetizzare maggiormente il materiale.

La tabella N. 2 dà i valori di μ, H e B per il ferro e per la ghisa.

TABELLA N. 2.

Ferro fucinato ricotto			Ghisa grigia		
H	B	μ	H	B	μ
2	5.000	2.500	5	4.000	800
4	9.000	2.250	10	5.000	500
5	10.000	2.000	21,5	6.000	279
6,5	11.000	1.692	42	7.000	166
8,5	12.000	1.412	80	8.000	100
12	13.000	1.083	127	9.000	71
17	14.000	823	188	10.000	53
28,5	15.000	526	292	11.000	37
52	16.000	308	—	—	—
105	17.000	161	—	—	—
200	18.000	90	—	—	—
350	19.000	54	—	—	—

11. - Circuito magnetico. - Riluttanza.

In una calamita le linee di forza partono dal polo Nord ed arrivano al polo Sud; esse compiono quindi un percorso in determinate condizioni formando un *circuito magnetico* allo stesso modo che una corrente elettrica, che da un polo della dinamo arriva all'altro.

Esiste una certa analogia tra un circuito elettrico ed un circuito magnetico.

Nel circuito elettrico la intensità della corrente trova nel suo percorso una resistenza dovuta al conduttore, così nel circuito magnetico l'intensità di magnetizzazione trova nel suo percorso una resistenza dovuta al materiale magnetico.

La resistenza del circuito elettrico dipende dalla lunghezza del percorso e della *resistenza specifica* del conduttore (4) la quale com'è noto si chiama *resistività* e la si indica con la lettera k.

Analogamente, la resistenza del circuito magnetico, che indicheremo con la lettera R dipende dalla lunghezza del percorso e della *permeabilità specifica* μ del materiale magnetico. La resistenza del circuito magnetico si chiama RILUTTANZA.

Sicchè, come nella legge di Ohm per i circuiti elettrici

$$R = k \times \frac{l}{s}$$

(4) k (resistività) è la resistenza a 0° di un filo di rame della lunghezza di 1 metro e della sezione di 1 mmq.

nei circuiti magnetici abbiamo la relazione

$$R = \frac{l}{\mu \times s}$$

Cioè: in *un circuito magnetico la riluttanza è direttamente proporzionale alla sua lunghezza* (percorso delle linee di forza dal polo Nord al polo Sud) *ed inversamente proporzionale alla sezione* (sezione di un polo del magnete).

Questa analogia esiste però solamente nella forma delle espressioni perchè vi è una notevole differenza tra i fenomeni dei due circuiti.

Infatti: il passaggio della corrente in un conduttore vi produce calore (effetto Joule), ciò che non succede nei materiali magnetici al passaggio del flusso d'induzione; nei circuiti elettrici la corrente non passa (praticamente) attraverso gli isolanti, mentre nei circuiti magnetici tutti i corpi sono permeabili e le linee di induzione si chiudono sempre; nei circuiti elettrici la resistenza non dipende dalla corrente, mentre in quelli magnetici la riluttanza dipende dalla permeabilità e quindi dal flusso.

Anche per la legge di Kirchoff esiste una certa analogia tra i circuiti elettrici e magnetici, perchè anche il flusso magnetico si divide e segue la via più permeabile come la corrente elettrica si divide seguendo la via meno resistente.

Quando un circuito magnetico è formato completamente di ferro, cioè quando le linee di forza partendo dal polo Nord attraversando sempre ferro vanno a finire al polo Sud (nell'interno del magnete le linee di forza vanno dal Sud al Nord) si dice: CIRCUITO CHIUSO NEL FERRO.

Se invece le linee di forza oltre al ferro debbono attraversare pure uno spazio d'aria si dice: CIRCUITO CON INTERFERRO O TRAFERRO e noi lo indicheremo con la lettera greca (delta) δ.

Nel calcolare il circuito magnetico l'interferro δ si esprime in cm. Nelle elettrocalamite l'interferro è dato dalla distanza esistente tra il nucleo e l'armatura.

12. - Magnetismo residuo.

Facendo crescere H da zero fino ad un certo valore la magnetizzazione varia seguendo una curva.

Quando poi H decresce fino ad un valore zero nel periodo di smagnetizzazione percorre una curva che differisce dalla prima, in modo che quando la H diventa nuovamente zero, si ha ancora un certo valore.

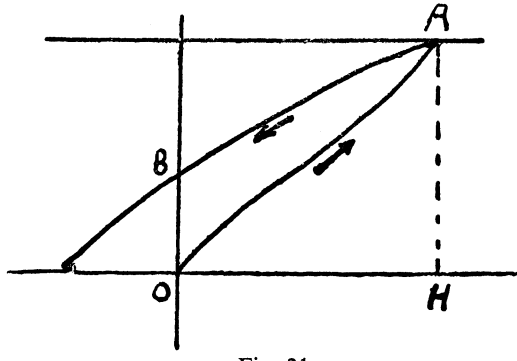


Fig. 21.

Questo valore chiamasi *magnetismo residuo.*

Così nella figura 21 O A rappresenta la curva dell'intensità di magnetizzazione per H crescente; A B rappresenta la curva di smagnetizzazione per H decrescente ed O B rappresenta il valore del magnetismo residuo.

Per annullare il magnetismo residuo si deve invertire il campo con una forza magnetizzante di direzione contraria.

13. - Massa magnetica. - Forza di attrazione e ripulsione.

Si ammette che la proprietà di un corpo di essere più o meno influenzato dalla forza di un campo speciale sia dovuta alla quantità di un agente speciale contenuto nel corpo.

Questa quantità di agente si chiama *massa*.

L'esistenza di un campo si attribuisce alla presenza di determinati corpi i quali contengono masse di un certo agente; così un campo magnetico è attribuito alla presenza di masse magnetiche.

L'unità di massa magnetica è quella che, portata alla distanza di un centimetro da un'altra massa uguale la attrae, oppure la respinge, con una forza uguale ad una di-

na ($\frac{1}{980}$ di grammo).

Questa unità di massa è uguale alla intensità magnetica H.

Si è convenuto di attribuire alle masse contenute in ciascun polo anche un segno e si è assunta come *positiva* la massa contenuta nel polo Nord e negativa la massa contenuta nel polo Sud.

In ogni magnete la massa positiva è uguale a quella negativa.

Due poli dello stesso nome, cioè due poli omonimi, si respingono e due poli di diverso nome, cioè due poli eteronimi, si attraggono.

La forza di attrazione e di ripulsione fra due calamite è proporzionale alla quantità di magnetismo nei poli ed inversamente proporzionale al quadrato della distanza.

Indicando con m ed m_1 le quantità di magnetismo che rispettivamente le due calamite contengono e d la distanza esistente tra i poli abbiamo che la forza F è data da

$$F = c \times \frac{m \times m_1}{d^2}$$

dove c è un coefficiente di proporzionalità.

14. - Sfericità del campo magnetico.

Abbiamo detto che l'unità di campo magnetico è di una linea di forza per cmq. (N 10).

Ma le linee di forza che partono dal polo Nord, per raggiungere il polo Sud, tutto d'intorno al polo, in tutti i sensi formano un campo sferico.

Così l'unità di magnetismo genererà un campo magnetico sferico di 1 cm. di raggio e siccome la superficie della sfera è $4 \times \pi \times r^2$, da un polo, con l'unità di magnetismo usciranno $4 \times \pi \times 1^2 = 4 \times \pi$ linee di forza e quindi per n unità usciranno $4 \times \pi \times n$ linee di forza.

Ne consegue che pure la induzione B ha un valore corrispondente a $4 \times \pi \times n$.

15. - Forza attrattiva e portante delle calamite. - Traferro.

Abbiamo una calamita S N ed una sbarretta di ferro *a b* (fig. 22) posta ad una certa distanza dai poli. La sbar-

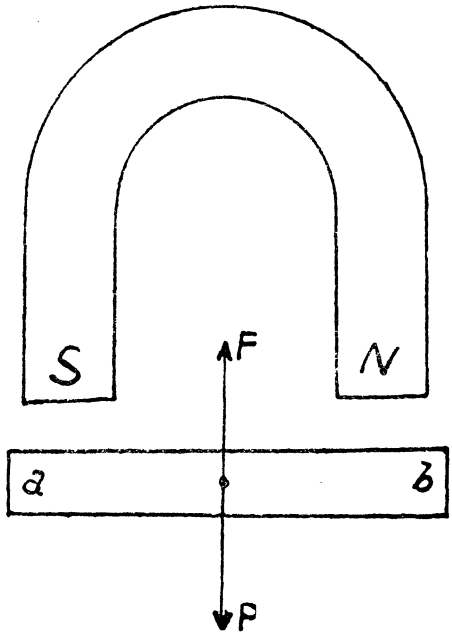


Fig. 22.

retta è naturalmente attratta dalla calamita con una forza F la quale si chiama *forza attrattiva della calamita.*

Questa forza è dipendente dalla distanza alla quale si trova la sbarretta *a b* dai poli. Questa distanza si chiama INTERFERRO e la indichiamo con la lettera δ.

Per ogni distanza δ la forza di attrazione F è uguale al peso F' che occorre aggiungere alla sbarra di ferro *a b* per stabilire l'equilibrio, cioè per rendere F = F'.

Se invece la sbarretta *a b* è attaccata alla calamita la forza che bisogna applicare alla sbarretta *a b* per staccarla si chiama *forza portante della calamita.*

La sbarretta *a b* si chiama ARMATURA. La portata e la forza attrattiva dipendono dalla forma della calamita e dell'armatura.

La portata di una calamita uguaglia la forza attrattiva quando l'armatura è a contatto perfetto.

Un magnete foggiato a forma di ferro di cavallo ha la forza portante più grande di quella che si avrebbe se il magnete fosse dritto, perchè le due superfici polari agiscono contemporaneamente.

Per avere la forza portante massima occorre che la sezione dell'armatura sia uguale a quella del magnete, e che le due superfici di contatto combacino perfettamente.

TABELLA N. 3.

Induzione B per cm^2.	F in Kg.	Induzione B per cm^2.	F in Kg.
1.000	0,0406	11.000	4,907
2.000	0,1623	12.000	5,841
3.000	0,3651	13.000	6,855
4.000	0,6489	14.000	7,550
5.000	1,014	15.000	9,124
6.000	1,460	16.000	10,39
7.000	1,987	17.000	11,72
8.000	2,596	18.000	13,14
9.000	3,286	19.000	14,63
10.000	4,056	20.000	16,26

Nei calcoli pratici F si esprime in kg. e la sezione S in cmq. Il valore di F si calcola con la formola:

$$F = \frac{S \times B^2}{5000^2} \text{ chilogrammi}$$

La tabella 3 dà il valore della portata F in kg. per cmq. per corrispondenti valori dell'induzione B, quando l'armatura è in perfetto contatto con i poli.

Se consideriamo la forza attrattiva quando l'armatura si trova ad una certa distanza dai poli, quando cioè vi è un certo interferro δ, bisogna tener conto *che la forza con la quale l'elettrocalamita attrae l'armatura è inversamente proporzionale al quadrato della distanza.* E se l'elettrocalamita è a due poli (fig. 4) occorre nel calcolo tener conto che il traferro o l'interferro è formato da $2 \times \delta$ se δ è la distanza tra i poli e l'armatura.

Esempio 1.

Calcolare la forza portante F *di un magnete della sezione rettangolare di mm.* 5 × 10 *supponendo che in esso l'induzione B sia di* 5000 *linee di forza per cmq.*

Essendo la sezione di forma rettangolare essa ci sarà data in cmq. da 0,5 × 1 = 0,5 e quindi

$$F = \frac{0,5 \times 5000^2}{5000^2} = \text{kg. } 0,5$$

Se lo stesso magnete avesse una induzione di 10.000 linee di forza per cmq. la forza portante diventerebbe doppia, cioè di 1 kg.

Ciò conferma che per aumentare la forza portante di un magnete occorre aumentare in esso l'induzione magnetica.

Conoscendo la portata F di un magnete si può calcolare il valore dell'induzione B per cm.^{2} dalla formola precedente.

$$B = 5000 \times \sqrt{\frac{F}{S}}$$

nella quale F, espresso in kg., indica la forza portante di un polo.

S espresso in cm.^{2}, indica la sezione del circuito magnetico.

Similmente, data la portata ed il valore di B si può trovare la sezione dalla formola

$$S = \frac{F \times 5000^2}{B^2}$$

Il flusso totale Φ è dato da B $\times$ S

$$\Phi = B \times S$$

quindi per avere il valore del flusso totale in rapporto alla sezione del magnete ed alla sua forza portante adopereremo la formola

$$\Phi = S \times 5000 \times \sqrt{\frac{F}{S}}$$

Nei magneti formati a ferro di cavallo o comunque foggiati in modo che sull'armatura agiscono contempora-

neamente i due poli Nord e Sud, la forza portante F totale ci è data dalla somma delle forze di ogni polo. Dunque in tutti i calcoli di magneti così foggiati, nel calcolare la forza portante totale F metteremo nelle formole il valore di $\frac{F}{2}$.

Esempio 2.

Trovare quale induzione totale Φ *deve avere un magnete a ferro di cavallo per tenere sollevato un peso attaccato all'armatura di* 100 *kg.*

La sezione del magnete sia di 25 *cmq.*

Il vlaore dell'induzione totale ci sarà dato da:

$$\Phi = 25 \times 5000 \times \sqrt{\frac{\frac{100}{2}}{S}} = 82500.$$

Esempio 3.

Trovare quale sezione dovrebbe avere un magnete dritto per sollevare un peso di 100 *kg. attaccato all'armatura. Supponendo che in esso l'induzione* B *sia di* 15.000 *linee per cmq.*

La sezione *S* ci è data da:

$$S = \frac{100 \times 5000^2}{15.000^2} = 33 \text{ cmq.}$$

Forza portante delle elettrocalamite di sollevamento.

La forza portante di un'elettrocalamita è lo sforzo che bisogna fare per separare un pezzo di ferro che essa ha attirato. La forza portante è proporzionale alla superficie portante del nucleo ed all'induzione.

Indicando con S la superficie della sezione di un nucleo dritto in cm^2 e con I il valore dell'induzione espresso in gauss, la forza portante espressa in Kg. sarà:

$$F = \frac{S \times I^2}{8\,\pi \times 981000} = 0{,}00000004\ S \times I^2$$

Quella di un'elettrocalamita a ferro di cavallo sarà in chilogrammi:

$$F = \frac{2 \times S \times I^2}{8\,\pi \times 981000} = 0{,}00000008 \times S \times I^2$$

Con queste formule si può stabilire la seguente tabella.

TABELLA N. 4.

5.000	1,5	13.000	6,8
6.000	1,7	14.000	7,8
7.000	2	15,000	9
8.000	2,6	16.000	10,3
9.000	3,3	17.000	11,6
10.000	4	18.000	13
11.000	4,8	19.000	14,5
12.000	5,8	20.000	16

Generalmente nelle calamite industriali si utilizzano delle induzioni di circa 16000 gauss, il che equivale ad una forza portante di circa 10 Kg. per cm^2., cioè circa 100 tonnellate al m^2.

E' da notare che la forza che sollecita il nucleo mobile nelle elettrocalamite a succhiamento è pure proporzionale al quadrato dell'induzione e siccome la resistenza del circuito magnetico varia con la sua posizione nell'interno del solenoide, così varierà pure l'induzione e, per conseguenza, la forza portante.

16. - Forza succhiante dei solenoidi.

Se avviciniamo ad un solenoide un magnete permanente S N, disponendolo nella direzione dell'asse, per effetto del campo magnetico generato nell'interno del solenoide abbiamo i seguenti fenomeni (fig. 23):

a) Se il polo del magnete affacciato al solenoide è di polarità uguale, viene respinto.

b) Se il polo del magnete affacciato al solenoide è di polarità opposta viene attratto nell'interno del solenoide.

c) Quando il magnete è disposto nell'interno del solenoide in modo che coincidono le rispettive zone neutre, ogni azione cessa; ma se lo si allontana da questa posizione, tirandolo un poco fuori. non appena viene lasciato libero ritorna nella posizione di prima.

Questi fenomeni sono dovuti alla *forza succhiante dei solenoidi.*

Una sbarra di ferro dolce viene sempre succhiata perchè si magnetizza sempre nel senso del campo del solenoide, qualunque sia la direzione della corrente.

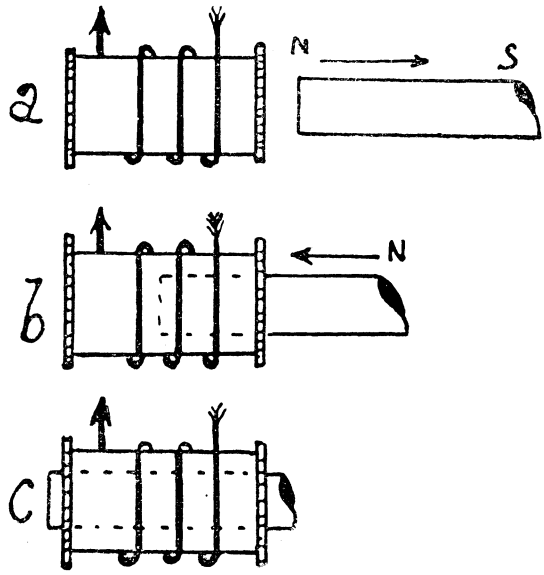


Fig. 23.

Alla sbarra di ferro dolce si dà il nome di NUCLEO.

E' da notare che questa proprietà dei solenoidi non si riscontra nei magneti cavi, in essi il nucleo è attratto fino a venire a contatto con la faccia polare, ma non penetra nell'interno.

La forza succhiante F varia con l'intensità del campo H (dobbiamo qui considerare il flusso Φ nell'aria — vedi N. 10 —) e quindi con l'intensità della corrente elettrica che circola nell'avvolgimento e col numero delle spire che formano il solenoide.

La velocità di spostamento del nucleo dipende dalla sua forma e dal suo peso e dallo sforzo che deve vincere per essere succhiato.

Per ridurre lo sforzo si farà agire il nucleo a mezzo di una leva mobile attorno ad un asse.

Com'è noto la forza F_1 che agisce sul braccio minore l_1 della leva trasmessa al braccio maggiore l_{11} vince una forza resistente F_{11} maggiore di F_1 in proporzione alle diverse lunghezze dei bracci.

$$l_1 \times F_{11} = l_{11} \times F_1.$$

Da questa formola si ricavano i diversi valori delle lunghezze dei bracci della leva, della forza di succhiamento del nucleo e della forza di resistenza.

17. - Corrente di eccitazione. - Forza magneto-motrice.

La corrente che circola nell'avvolgimento della bobina di un solenoide (e di un'elettrocalamita) si chiama corrente di eccitazione.

Dalle spirali dell'avvolgimento di un solenoide abbiamo una emanazione di linee di forza che producono al centro un campo magnetico H.

Questo campo H varia col variare del numero delle spire N, dell'intensità i in ampère e varierà inoltre, ma inversamente, col variare della lunghezza l del solenoide.

$$H = \frac{1{,}25 \times N \times i}{l}$$

In questa formola il valore di H è in linee di forza per cmq.

La lunghezza l è espressa in cm.
Il valore totale del flusso Φ ci è dato da

$$\Phi = H \times S.$$

Il termine $1{,}25 \times N \times i$ rappresenta la forza *magnetomotrice* F.

$$F = 1{,}25 \times N \times i$$

Ma il valore di F ci viene pure dato da

$$F = H \times l.$$

Si nota che in queste formole il diametro del solenoide non entra, ma entra solo la sua lunghezza l.

Esempio 4.

Trovare il valore dell'intensità magnetica H *in linee di forza per cmq. (unità gauss) di un solenoide lungo* 20 *centimetri sul quale vi sono avvolte* 250 *spire percorse da* 10 *ampère.*

$$H = \frac{1{,}25 \times 250 \times 10}{20} = 161$$

Introducendo nel solenoide un nucleo di ferro questo avendo la proprietà di attirare ed aumentare le linee di forza l'intensità del flusso magnetico del ferro diventa B (N. 10) e quindi abbiamo:

$$B = \mu \times \frac{1{,}25 \times N \times i}{l}$$

Il prodotto 1,25 × N × i si chiama *forza magnetomotrice.*

In questo formola il valore di B è in linee di forza per cm^2.

Il valore $\left(\frac{N \times i}{l}\right)$ rappresenta quello della amperspire per ogni cm. di lunghezza del circuito magnetico (Tabella 4).

18. - Calcolo delle amperspire per campi H.

Nei circuiti senza ferro, cioè in un solenoide rettilineo e lungo da due a più volte il diametro (fig. 24), nell'interno

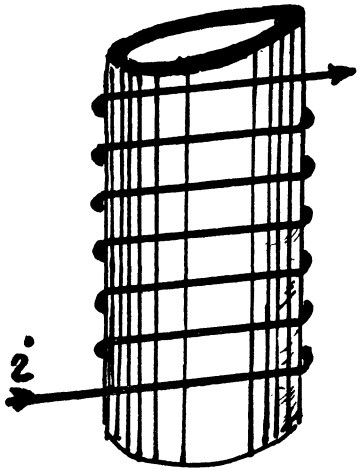


Fig. 24.

abbiamo un campo magnetico costante il cui valore H come abbiamo già detto ci è dato da:

$$H = \frac{1{,}25 \times N \times i}{l}$$

e quindi:

$$(N \times i) = \frac{H \times l}{1{,}25} = 0{,}8 \times H \times l$$

dove H è espresso in linee di forza per cmq.

Il valore di H oltre a misurare l'intensità del campo misura pure la *forza magnetizzante* per cm. cioè la intensità di campo che si produce nell'aria in un circuito magnetico di 1 cm., quando in esso circuito agiscono 1,25 × × ampèrspire.

Esempio 5.

Quante ampèrspire dobbiamo avvolgere per avere un solenoide della lunghezza l = 20 centimetri che dia un flusso Φ nell'aria di 100 linee di forza per cm²?

$$(N \times i) = 0{,}8 \times 100 \times 20 = 1600.$$

19. - Calcolo delle amperspire per campi B.

La tabella N. 5 dà le ampèrspire per ogni centimetro di lunghezza del circuito magnetico in corrispondenza della induzione B (numero di linee di forza per cm.²).

Quindi per avere le ampèrspire totali N × *i* occorre moltiplicare il valore di *a* dato dalla tabella — corrispon-

dente al valore di B — per la lunghezza l del circuito magnetico.

$$N \times i = (a \times l) + k.$$

Se il circuito contiene traferro le $N \times i$ si hanno dalla somma del tratto di circuito nel ferro più il tratto di circuito nell'aria.

TABELLA N. 5.

Linee di forza per cm² B =	*Ampèrspire* per ogni centimetro di lunghezza del circuito magnetico = *a*			
	per il ferro lamellato *a* =	per il ferro fucinato *a* =	per la ghisa *a* =	per l'aria *a* =
1.000	0,15	0,9	1	800
2.000	0,80	1,2	2	1.600
3.000	0,50	1,5	3	2.400
4.000	0,65	1,9	4	3.200
5.000	0,90	2,2	8	4.000
6.000	0,10	2,5	17,2	4.800
7.000	1,35	2,9	33,6	5.600
8.000	1,65	3,3	64	6.400
9.000	2,—	4,—	101,6	7.200
10.000	2,4	5,—	150,4	8.000
11.000	3,—	6,5	233	8.800
12.000	3,9	8,5	—	9.600
13.000	5,—	12,—	—	10.400
14.000	7,—	17,—	—	11.200
15.000	12,5	28,5	—	12.000
16.000	35,—	52,—	—	13.600
17.000	88,—	105,—	—	—
18.000	138,—	200,—	—	14.400

Se il circuito magnetico è formato da due qualità di materiale, ad esempio ferro lamellato e ghisa le N × *i* si hanno addizionando tra loro i valori della N × *i* per i diversi tratti di circuito.

Il valore di *k* nella formola precedente rappresenta le ampèrspire da aggiungere per compensare la riluttanza che presentano i giunti magnetici e che varia col variare del valore di B.

Con la tabella N. 6 diamo il valore di *k* per i diversi valori di B.

TABELLA N. 6.

B =	per 1 giunto *k* =	per 2 giunti *k* =	per 4 giunti *k* =
1.000	40	80	160
2.000	80	160	320
3.000	120	240	480
4.000	160	320	640
5.000	200	400	800
6.000	240	480	960
7.000	280	560	1.120
8.000	320	640	1.280
9.000	360	720	1.440
10.000	400	800	1.600
11 000	440	880	1.760
12.000	480	960	1.920
13.000	480	1.040	2.080
14.000	500	1.120	2.240
15.000	560	1.200	2.400
16.000	600	1.280	2.560
17.000	640	1.360	2.720
18.000	680	1.440	2.880

Esempio 6.

Calcolare le ampèrspire di un circuito chiuso, con armatura, di ferro fucinato della sezione di 10 cm^2. *e della lunghezza di* 60 *cm. per produrre un flusso* Φ *di* 100.000 *linee di forza.*

Il valore B ci è dato da:

$$B = \frac{\Phi}{S} = \frac{100.000}{10} = 10.000$$

Dalla tabella N. 5 troviamo che per il ferro fucinato, per B = 10.000, corrisponde $a = 5$. E calcolando $k = 880$ dalla tabella N. 6 per i due contatti dell'armatura con i poli, per avere le ampèrspire totali:

$$N \times i = 5 \times 60 + 880 = 1.180$$

Esempio 7.

Calcolare le ampèrspire di un circuito della lunghezza di 40 *cm.; con* 5 *mm. di interferro, nucleo di ferro fucinato della sezione di* 10 *cmq., per produrre un flusso* Φ *di* 150.000 *linee di forza.*

$$\text{Valore di } B = \frac{\Phi}{S} = \frac{150.000}{10} = 15.000$$

Dalla tabella N. 5 troviamo che per il ferro fucinato, per B = 15.000, corrisponde $a = 28{,}5$ e per l'aria, $a =$ = 12.000. Abbiamo:

$$N \times i = (40 \times 28{,}5) + (0{,}5 \times 12.000) = 7.140.$$

20. - Consumo di energia nell'elettrocalamita.

Un campo magnetico prodotto da una corrente elettrica consuma energia solamente per mantenere la corrente nell'avvolgimento.

Infatti noi nel calcolare la intensità *i* della corrente ci riferiamo al valore della resistenza R (se si tratta di corrente continua) o dell'impedenza Z (se si tratta di corrente alternata ed abbiamo sempre

$$i = \frac{\text{Volt}}{\text{R}} \quad \text{oppure} \quad I = \frac{\text{Volt}}{\text{Z}}$$

Quindi il valore dell'intensità dipende esclusivamente dal valore di R o di Z, come in una qualsiasi linea elettrica.

Quindi l'energia in watt per la corrente continua:

$$W = i \times V.$$

Una volta prodotto il campo magnetico lo mantiene senza consumarsi per esso e non subisce nessuna variazione quando il magnetismo prodotto dal campo magnetico attira un pesante pezzo di ferro o succhia un nucleo esercicitando su di esso una rilevante forza.

L'energia W viene consumata tutta in calore, riscaldando l'avvolgimento, per il noto effetto Joule (5) $R \times i^2$.

Da ogni calcolo di elettrocalamita noi veniamo a conoscere l'energia assorbita, perchè ci è nota la tensione V con la quale la elettrocalamita deve funzionare e perchè troviamo l'intensità di corrente necessaria per formare la for-

(5) Joule è il lavoro fatto in un secondo da 1 ampère in un circuito di 1 ohm di resistenza.

za *magnetomotrice* (N × *i*). Per la corrente alternata abbiamo invece un'altra perdita dovuta all'isteresi od altra causa, come vedremo in seguito al N. 24, per la quale troveremo il valore a mezzo del coefficiente *q* datoci dalla tabella 7.

21. - Correnti di Foucault.

Si sviluppano in una massa metallica attraversata dalle linee di forza in un circuito magnetico.

Queste correnti si chiudono su se stesse nella stessa massa metallica riscaldandola.

Si evitano dividendo la massa magnetica con diversi piani normali alla direzione della induzione ed isolando le diverse parti con della carta, come vedremo in seguito.

22. - Extracorrente. - Selfinduzione.

Una corrente induce anche su se stessa e sullo stesso suo filo due altre correnti, una in direzione inversa nell'atto della chiusura del circuito o nell'atto che essa incomincia a circolare; l'altra di uguale direzione, nell'atto dell'interruzione del circuito o nell'atto che essa cessa di circuire.

Queste correnti generate per induzione in se stesse, *autoinduzione* o *selfinduzione*, si chiamano *extracorrenti*.

Nei circuiti percorsi da corrente variabile (alternata) l'effetto della selfinduzione è continuo, mentre se percorsi da corrente continua, l'effetto della selfinduzione avviene solo alla chiusura ed all'apertura del circuito, avendosi così extracorrente di chiusura ed extracorrente di apertura. La prima avendo direzione inversa della corrente principale, impedisce che questa raggiunga subito la intensità di regi-

me; la seconda avendo direzione uguale a quella della corrente principale, prolunga l'effetto di questa quando sta per cessare.

Il valore dell'extracorrente dipende pure dal mezzo in cui il circuito si trova immerso e dalle dimensioni di questo.

Per questa ragione l'effetto della selfinduzione in generale è maggiore nelle bobine che hanno molte spire e quando esse sono avvolte su nuclei di ferro.

Nella costruzione di un elettromagnete a corrente continua bisogna tener conto del valore dell'extracorrente, bisogna cioè non limitare l'isolamento delle spire al valore della tensione della corrente che deve agire su di esse, perchè ad ogni interruzione del circuito l'extracorrente di apertura aumenta di molto la tensione agente in quell'istante nelle spire e può compromettere l'isolamento se questo non è stato opportunamente curato.

Il valore dell'extracorrente ci è dato dalla formola

$$e = \frac{N \times \Phi}{t \times 100000000}$$

e = f.e.m. indotta
N = numero delle spire totali dell'avvolgimento
Φ = flusso magnetico totale (B × S)
t = tempo in cui avviene l'apertura e la chiusura del circuito. Espresso in minuti secondi.

Esempio 8.

Abbiamo un elettromagnete a corrente continua a due poli con 500 *spire per polo. Flusso totale del circuito magnetico* Φ = 30000000. *Calcolare il valore dell'extracor-*

rente quando apriamo il circuito di eccitazione in un tempo t *uguale ad un decimo di secondo.*

$$v = \frac{2 \times 500 \times 36000000}{0{,}1 \times 100000000} = 3000 \text{ Volt}$$

23. - Isteresi magnetica.

Quando un materiale magnetico viene assoggettato a continua e successiva magnetizzazione e smagnetizzazione lo stato magnetico del materiale segue una curva chiusa (fig. 25) detta *ciclo magnetico,* la cui forma dipende dalla qualità del materiale soggetto a queste variazioni del campo.

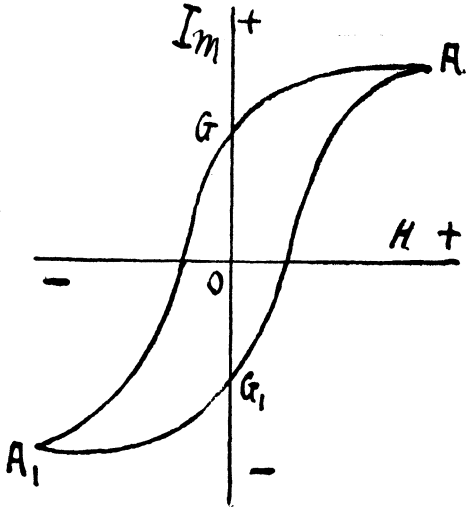


Fig. 25.

La variazione della magnetizzazione e dell'induzione segue con un certo ritardo la variazione della forza magnetizzante.

A questo fenomeno si dà il nome di ISTERESI MAGNETICA.

Quando il materiale magnetico compie questo ciclo si spende un lavoro per vincere questo ritardo; questo lavoro si chiama *lavoro perduto per isteresi.*

In tutte le elettrocalamite percorse da correnti alternate si produce nel nucleo magnetico l'isteresi dovuta al continuo cambiamento della direzione della corrente che circola nell'avvolgimento che di conseguenza cambia alternativamente il senso di magnetizzazione.

TABELLA N. 7.

per B =	Nelle lamiere di ferro dolce dello spessore di mm.		Nelle lamiere di ferro contenente silicio	
			all'1% spes. mm.	al 3% spes. mm.
	0,35	0,50	0,5	0,35
	q =	q =	q =	q =
5.000	0,80	1,5	0,85	0,4
10.000	2,58	3,30	2,90	1,36
11.000	3,10	3,90	3,50	1,65
12.000	3,75	4,60	4,15	2,—
13.000	4,60	5,32	4,95	2,35
14.000	5,63	6,15	5,90	2,75
15.000	6,40	7,10	6,96	2,50

L'isteresi produce un riscaldamento del ferro ed un caratteristico rumore — ronzio — nel ferro.

Essa aumenta coll'aumentare della frequenza della corrente alternata.

La tabella N. 7 dà il valore delle perdite dovute all'isteresi nei nuclei lamellati.

Il coefficiente q è espresso in watt per ogni chilogrammo di materiale magnetico. Avendo quindi un nucleo di P Kg. la perdita dovuta all'isteresi in detto nucleo è data da

$$\text{watt} = P \times q.$$

Tutti i nuclei di elettrocalamite alimentate da corrente alternata si fanno con pacchi di lamiere dello spessore di 0,35 a 0,5 mm. isolate con sottili fogli di carta — (N. 23) — o con vernice isolante.

Stabilite le dimensioni del nucleo e dell'armatura si calcola il peso del ferro — N. 29 — e quindi la perdita in watt mediante la formola precedente.

24. - Magnetizzazione con la corrente alternata.

Tutto quanto abbiamo detto al N. 7 per la corrente continua avviene per la corrente alternata per ogni alternanza della corrente.

Sicchè una corrente alternata percorrendo le spire di un solenoide genera ugualmente un campo magnetico, con la differenza però che la sua direzione cambia alternativamente con la direzione della corrente.

Così una corrente della frequenza di 50 periodi cambiando in un minuto secondo 100 volte di direzione (alternativamente 50 volte in un senso e 50 volte nel senso opposto) genera un campo che a sua volta cambia la medesima direzione nel medesimo tempo.

L'effetto magnetico non cambia: l'elettrocalamita attira l'armatura, il solenoide succhia nel suo interno un nucleo di ferro.

La variazione della corrente produce però, sia per effetto delle spire dell'avvolgimento, sia per effetto del nucleo di ferro una corrente di selfinduzione (6) (o di *autoinduzione*).

Il valore di questa corrente dipende dalla frequenza della corrente; dal numero delle spire che contiene l'avvolgimento dell'elettrocalamita; dalla quantità del flusso Φ; dalla grandezza e quindi dal peso del nucleo di ferro.

Il valore della *f.e.m.* indotta (tensione dell'autoinduzione) ci è dato dalla formola:

$$e = \frac{4{,}44 \times f \times N \times \Phi}{100000000}$$

e = f.e.m. indotta;
f = frequenza della corrente di alimentazione;
N = numero totale delle spire dell'avvolgimento;
Φ = flusso del circuito magnetico.

Questa *f.e.m.* è di direzione opposta a quella della corrente di alimentazione e perciò si oppone al passaggio di questa.

Infatti, mentre una corrente continua passa per qualsiasi numero di spire, una corrente alternata trova ostacolo nel passare per l'avvolgimento di un solenoide.

Come si vede dalla formola precedente questo ostacolo, essendo formato dal valore di e risulta più grande quanto maggiore è il valore della frequenza f, del numero delle spire N e del flusso Φ.

---

(6) Dall'inglese *self* = se stesso.

Per conseguenza il valore della *f.e.m.* di *autoinduzione* aumenta con l'aumentare della grandezza del nucleo di ferro e dipende pure dalla qualità del materiale di esso nucleo.

Una corrente di bassa frequenza (quelle industriali di 42 a 50 periodi) supera l'ostacolo ma si indebolisce, mentre le correnti ad alta frequenza non passano del tutto.

I radiotecnici inseriscono nei loro circuiti bobine con avvolgimenti a molte spire per non lasciar passare delle correnti ad alta frequenza (bobine di reattanza).

Quando noi mandiamo nell'avvolgimento di una elettrocalamita una corrente alternata di tensione E l'intensità di corrente che in esso avvolgimento di resistenza ohmica R circola, non è come per la corrente continua

$$I = \frac{V}{R}$$

Nella corrente alternata abbiamo un altro valore dell'intensità di corrente che indicheremo con *I* ed è l'intensità efficace. (*L'intensità efficace è la media dei valori assunti durante un periodo, supponendolo diviso in tanti piccoli tempi. L'intensità efficace è uguale a* 0,707 *l'intensità massima e, viceversa, l'intensità massima è uguale a* 1,41 *l'intensità efficace. Lo stesso è per la* f.e.m., *cioè dicendo che una corrente alternata è di* 100 *volt significa che la tensione raggiunge il massimo e il minimo valore di* 141 *volt*).

Essa oltre a dipendere dal valore della resistenza ohmica R dell'avvolgimento, dipende dal valore dell'INDUTTANZA L che si misura in Henry (7).

---

(7) Henry è l'induzione di un circuito quando la f.e.m. indotta è di 1 volt mentre la intensità della corrente induttrice varia nella ragione di 1 ampère per minuto secondo.

Il valore di L ci è dato dalla formola:

$$L = \frac{N^2 \times \Phi}{(N \times i) \times 100000000}$$

L = induttanza;
Φ = flusso totale del circuito magnetico;
(N × *i*) = amperspire.

La resistenza del circuito nel quale è inserito l'avvolgimento si chiama IMPEDENZA e la indicheremo con la lettera Z.

I tre valori: IMPEDENZA, REATTANZA, RESISTENZA si rappresentano geometricamente con un triangolo rettangolo, come mostra la figura 26, nel quale l'ipotenusa rappresenta l'impedenza ed i due cateti la resistenza e la reattanza.

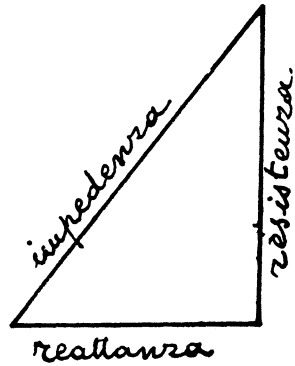


Fig. 26.

Per il noto teorema di Pitagora abbiamo:

$$\text{IMPEDENZA} = \sqrt{\text{RESISTENZA}^2 + \text{REATTANZA}^2}$$

Quindi nella corrente alternata

$$I = \frac{E}{Z}$$

L'apparire e lo scomparire del campo magnetico produce una perdita dovuta all'isteresi (N. 23). Conseguentemente nelle elettrocalamite alimentate da corrente alternata la perdita di energia è maggiore della perdita che abbiamo nelle elettrocalamite alimentate da corrente continua.

Infatti, mentre in queste ultime la perdita è dovuta all'effetto *Joule,* in quelle a corrente alternata l'avvolgimento assorbe una potenza:

watt = perdite nel ferro + perdite di eccitazione.

L'avvolgimento viene percorso da una corrente di eccitazione I composta da una corrente di magnetizzazione i e da una corrente I per energia dissipata nel ferro per isteresi e correnti parassite.

Sicchè la corrente totale che passa nell'avvolgimento (e che noi misuriamo con l'amperometro) non è quella di magnetizzazione, ma è maggiore.

Nel calcolo dell'avvolgimento per elettrocalamite a corrente alternata le *amperspire* ci sono date dalla formola

$$\textit{Amperspire} = \frac{(l \times a) + (\delta \times a_1)}{1{,}41}$$

nella quale:

l = lunghezza in cm. del circuito magnetico;

a = amperspire per centimetro di lunghezza del circuito magnetico (Tabella N. 5) per il ferro;

δ = lunghezza espressa in cm. dell'interferro (per elettrocalamite a due poli si calcola $2 \times \delta$);

a_1 = amperspire per centimetro di lunghezza del circuito magnetico (Tabella N. 5) per l'aria;

N = numero delle spire totali dell'avvolgimento.

Il nucleo verrà sempre costruito con pacco di lamiere sagomate.

Trovato il valore delle *amperspire* nell'assegnare i singoli valori ad N ed *i* occorre tener presente che stabilendo un numero di spire in relazione ad una intensità di corrente potrebbe prodursi nel circuito elettrico, con quel numero di spire, una impedenza così grande, per effetto dell'autoinduzione, da non permettere il passaggio della corrente.

Occorre pertanto calcolare sempre l'intensità di magnetizzazione *i* in funzione di N.

Nell'elettrocalamita a corrente continua noi dobbiamo calcolare la resistenza ohmica del filo di avvolgimento in modo che la perdita di tensione da essa prodotta sia uguale al valore della tensione della corrente di alimentazione; con la corrente alternata invece è la *f.e.m. di autoinduzione* che essendo contraria a quella di alimentazione ne annulla il valore. Come abbiamo detto, questa f.e.m. di autoinduzione:

$$e = \frac{4{,}44 \times f \times N \times \Phi}{100000000}$$

essendo fissato il valore della frequenza f ed il valore del

flusso Φ può essere variata solamente variando il numero delle spire N.

Dalla formola precedente, fissando il valore di *e* troveremo il valore di N:

$$N = \frac{e \times 100000000}{4{,}44 \times f \times \Phi}$$

Per far circolare nell'avvolgimento la corrente di eccitazione *i*, dobbiamo applicare ai suoi estremi una tensione V data dalla somma della tensione di autoinduzione *e* più le tensioni per vincere la resistenza ohmica e l'induttanza dell'avvolgimento.

Ora essendo piccoli questi due ultimi valori si può praticamente ritenere V quasi uguale a *e*.

Si stabilirà così il valore di N con la formola precedente.

Trovato questo valore, si troverà il valore della corrente di magnetizzazione

$$i = \frac{\text{amperspire}}{N}$$

L'autoinduzione si produce in tutti i circuiti formati da apparecchi che hanno avvolgimenti avvolti a spire: nei motori, nei trasformatori, negli alternatori.

Il valore del cos φ ch'è uno dei fattori che formano i valori della corrente alternata è appunto dovuto all'autoinduzione.

E' un valore minore dell'unità ed è dato da:

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z}$$

Come si vede, il calcolo dell'avvolgimento a corrente alternata è più difficile e soprattutto più laborioso di quello a corrente continua, perchè bisogna tener conto di tanti fattori che non esistono nella corrente continua.

Il valore dell'induzione può per elettrocalamite di grandissime portate arrivare, con qualsiasi calcolo, ad un valore così alto di *e* da non permettere la costruzione.

Esempio 12.

Calcolare le amperspire efficaci di un avvolgimento a corrente alternata. Armatura e nucleo di ferro lamellato della sezione di 10 *cmq., per produrre un flusso* Φ *di* 150.000 *linee di forza. Circuito magnetico di* 50 *cm. con interferro di* 5 *mm.*

$$\text{Valore di } B = \frac{\Phi}{S} = \frac{150.000}{10} = 15.000$$

Dalla tabella 5 troviamo che per il ferro lamellato, per B = 15.000 corrisponde a = 12,5 e per l'aria (interferro) a = 11.200. Abbiamo:

$$\text{Amper-spire} = \frac{(50 \times 12{,}5) + (0{,}5 \times 11{,}200)}{1{,}41} = 4351.$$

Esempio 13.

Vogliamo alimentare l'elettrocalamita dell'esempio precedente con corrente alternata a 50 *periodi e* 150 *volt, calcolare l'intensità della corrente che deve percorrere l'avvolgimento.*

Conoscendo le amperspire, troviamo il numero N delle spire che dobbiamo avvolgere.

$$N = \frac{100000000 \times 150}{4{,}44 \times 50 \times 150{,}000} = 750$$

$$\frac{\text{amperspire } 4351}{\text{spire } 750} = \text{ampère } 5{,}8$$

25. - Costruzione del nucleo. - Giunti magnetici.

NUCLEO DI FERRO FUCINATO (8). — Quando il nucleo è formato da un sol pezzo di ferro fucinato, di sezione circolare, rettangolare o quadrata, la lavorazione meccanica si riduce a quella parte che deve entrare nei *rocchetti*,

---

(8) Dai primi processi dell'estrazione del ferro esso contiene molte impurezze: carbonio, zolfo, fosforo, ecc. Il ferro greggio contiene più del 2,6% di impurezze; il ferro duttile ne contiene meno.

Il ferro greggio si distingue in *ghisa grigia* e *ghisa bianca*. La ghisa grigia contiene la maggior parte del carbonio sotto forma di grafite. Ha colore grigio-chiaro o grigio-nero, struttura granulare, il suo peso specifico è di circa 7; si fonde più difficilmente della ghisa bianca nella quale si trasforma quando viene raffreddata rapidamente. Allo stato di fusione è molto fluida. La ghisa bianca è molto dura e molto fragile, il suo peso specifico varia tra 7,58 e 8,68. Ha color bianco argentino. Si prepara esclusivamente per trasformarla in ferro duttile.

Il ferro duttile fonde ad una temperatura superiore ai 1400° rammollendosi prima; è duttile e malleabile e si riduce come si vuole in tutte le forme lavorandolo col martello e si può saldare a se stesso (*bollitura*).

in modo che questi si possano calzare a pressione, ed alle superfici dei fori che devono combaciare con l'armatura. Quando la sezione non è circolare occorre arrotondare gli angoli vivi.

NUCLEO DI FERRO LAMELLATO DI UN SOL PEZZO. — Quando il nucleo è formato da un fascio di lamiere di ferro dello spessore di 0,3 a 0,5 mm. (isolate mediante sottili fogli di carta) la lavorazione meccanica è più complicata. La migliore soluzione costruttiva è quella di racchiudere le lamiere nella parte che resta fuori dei rocchetti tra due lamiere di ferro dolce più spesse e stringere il *pacco* con dei bulloni passanti. La parte che entra nei rocchetti deve essere accuratamente piallata, con an-

---

Si distingue in ferro fuso e ferro saldato secondo i metodi di preparazione. Talune qualità di ferro duttile raffreddate rapidamente aumentano notevolmente di durezza; l'operazione del rapido raffreddamento si chiama tempera; il ferro che può subire la tempera si chiama *acciaio*.

L'acciaio si divide in acciaio fuso ed acciaio saldato.

La durezza del ferro aumenta coll'aumentare la quantità di carbonio contenuto; il ferro dolce o tenero povero di carbonio è duttile anche a freddo, ma non può subire la tempera.

Il ferro fuso o *ferro omogeno* è meno tenace del ferro saldato e contiene circa l'1% di carbonio.

L'acciaio saldato contiene una quantità di carbonio ma in sostituzione può contenere del manganese, del cromo, del nichel, ecc., ottenendo così l'acciaio al manganese, l'acciaio al cromo, l'acciaio al nichel, ecc.

Anche il ferro dolce può contenere in una piccola percentuale altre sostanze, quali ad esempio il silicio.

Il ferro ossida rapidamente all'aria umida formando uno strato di ruggine la quale si propaga sempre più in tutta la massa.

E' perciò sempre conveniente verniciare i nuclei di ferro delle elettrocalamite prima di infilarli nei rocchetti con della vernice isolante data due o tre volte.

goli arrotondati, ed ugualmente quella delle superfici dei poli che debbono combaciare con l'armatura.

NUCLEO IN DIVERSI PEZZI. — Quando il nucleo è fatto in diversi pezzi (per una elettrocalamita possono essere al massimo tre: due nuclei ed il giogo) la lavorazione meccanica deve essere ancora più accurata, in particolar modo nei *giunti magnetici.*

Questi giunti possono essere fatti tra *materiali omogenei* di uguale permeabilità ed in questo caso si faranno *giunti affacciati,* cioè costituiti da due superfici piane, accuratamente lavorate in modo da avere delle superfici perfettamente combacianti, e collegate mediante viti.

Quando invece si tratta di collegare nuclei fatti con pacco di lamiere ad un giogo di ferro o di ghisa il collegamento è più difficile meccanicamente e non è consigliabile adottarlo per nuclei di elettrocalamite, mentre si adopera per nuclei di induttori di macchine.

In quanto al materiale magnetico è consigliabile scegliere quelli molto permeabili che ci permettono fissare per l'acciaio fuso B = 15.000 a 16.000 linee per cm.^{2} per il ferro dolce, forgiato o laminato B = 16.000 a 18.000 linee per cm^2.

Ma per piccole elettrocalamite, di minuscola portata non potendo, per necessità di costruzione adottare delle sezioni piccolissime, sceglieremo valori di B molto bassi:

$$B = 1000 \text{ a } 5000 \text{ linee per cm.}^2.$$

Le lamiere di ferro per i pacchi lamellati esistono in commercio già preparate (con la carta attaccata), ma chiedendo ad una piccola fabbrica di trasformatori e motori degli spezzoni, non è difficile averli.

Il pacco delle lamiere deve essere molto bene stretto. Si adoperano lamiere dello spessore di mm. 0,35 o 0,50 di ferro dolce e preferibilmente di ferro contenente silicio.

26. - Calcolo dell'avvolgimento elettrico.

Dalla formola $1{,}25 \times N \times i$ della forza magnetomotrice di una elettrocalamita noi vediamo che il valore di N e di i può variare in qualsiasi maniera purchè si abbia sempre

$$N \times i = N' \times i' = N'' \times i'', \text{ ecc.}$$

ad esempio supponendo che il valore $N \times i$ sia 100, noi possiamo avere la stessa forza magnetomotrice sia avvolgendo 100 spire e facendole attraversare da una corrente di 1 amp., sia avvolgendo 50 spire e facendole attraversare da una corrente di 2 amp., sia avvolgendo due spire e facendole attraversare da una corrente di 50 amp., avremo sempre:

100 = 100 spire × 1 amp. = 50 sp. × 2 amp. = 2 sp. × 50 amp.

Un elettromagnete (e un solenoide) può funzionare sia in derivazione di un circuito elettrico di V volt; sia in serie di un circuito elettrico di i ampère. Ma può avere pure due avvolgimenti uno in derivazione ed uno in serie i quali possono essere percorsi da corrente di uguali direzioni in modo da avere due flussi magnetici di uguale direzione e quindi un flusso totale formato dalla somma dei due, oppure possono essere percorsi (per speciali applicazioni) da due correnti di opposte direzioni in modo da avere un flusso totale risultante dalla differenza dei due flussi di direzioni opposte.

Avremo così un'elettrocalamita con avvolgimeno in derivazione; oppure con avvolgimento in serie; oppure con due avvolgimenti — *composti o compound* — uno in serie ed uno in derivazione.

Gli avvolgimento differenziali (di opposte direzioni) possono essere pure in derivazione su due circuiti differenti.

Nell'avvolgimento in serie si può farvi passare tutta la corrente del circuito o solamente una parte, mediante uno Shunt (9).

---

(9) *Quando un circuito si divide in derivati, l'intensità di corrente si riparte nelle derivazioni in parti inversamente proporzionali alla singole resistenze.*

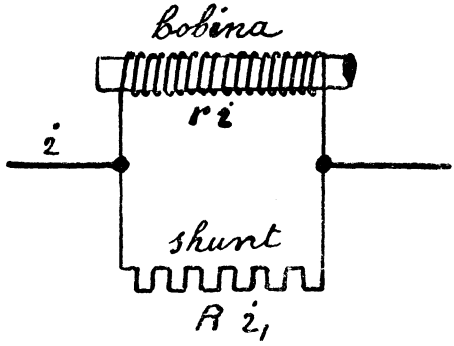


Fig. 27.

Nella bobina di resistenza r vogliamo far passare la corrente i, mentre quella del circuito è I. Dobbiamo inserire in derivazione uno shunt di resistenza R capace di far passare la corrente $I-i=i_1$.

Per la legge di cui sopra si dovrà verificare la seguente proporzione:

$$r : R = i_1 : i$$

da cui si ricava:

$$R = \frac{i \times r}{i_1}$$

La più estesa applicazione di elettromagneti con avvolgimenti in serie la troviamo negli interruttori automatici a massima corrente. In essi l'elettromagnete deve funzionare per *sganciare un nottolino* ed aprire l'interruttore quando la corrente nel circuito ha raggiunto un certo valore.

E' quindi necessario che la forza magnetomotrice del solenoide, essendo N costante, possa raggiungere un certo valore (quello necessario allo sforzo per lo sganciamento del nottolino) col crescere dell'intensità della corrente *i* del circuito.

IL CALCOLO DELL'AVVOLGIMENTO IN DERIVAZIONE viene fatto partendo dal valore della tensione della corrente di alimentazione.

Occorre innanzi tutto tener presente il tempo in cui l'elettromagnete resta sotto tensione e la durata degli intervalli di funzionamento e ciò per tener conto del riscaldamento dell'avvolgimento (10).

Se l'elettromagnete deve funzionare a servizio continuo, se resta cioè continuamente sotto tensione, la sezione del filo di avvolgimento deve essere calcolata in modo che il riscaldamento di esso non superi i 50°.

Se invece l'elettrocalamita viene messa sotto tensione per tempo brevissimo, ed a lunghi intervalli, si può calcolare una sezione molto più ridotta perchè la brevità del passag-

---

(10) La quantità di calore q prodotta da una corrente è direttamente proporzionale alla resistenza R, al quadrato dell'intensità i ed al tempo t

$$q = 0{,}00024 \times R \times i^2 \times t$$

il valore di q è espresso in calorie al minuto secondo.

(Caloria è al quantità di calore necessaria per innalzare di un grado centigrado un litro d'acqua).

gio di corrente non dà il tempo di raggiungere un riscaldamento eccessivo.

La temperatura di regime ammessa come *massima* per funzionamento continuo è data dalla seguente tabella N. 8.

L'elettrocalamita può anche funzionare nell'olio (come i trasformatori). Si ricorre a questo sistema sia per permettere una temperatura più alta sia perchè i contatti che essa è destinata di aprire e chiudere per immettere o togliere corrente in un circuito, avvengano nell'olio per un maggiore isolamento, per protezione, per non dar luogo a formazione di scintille — archi — tra essi contatti. Questa applicazione di elettrocalamita nell'olio la troviamo nei teleinterruttori.

TABELLA N. 8.

Natura dell'isolamento	Temperatura massima di regime
Avvolgimento con isolamento di cotone non impregnato	75°
Avvolgimento con isolamento di cotone impregnato di vernice	85°
Avvolgimento con fili smaltati	90°
Avvolgimento con isolamento ai siliconi	150°
Nucleo di ferro	80°

In ogni caso per gli avvolgimenti alimentati da corrente continua si dovranno verificare le seguenti equazioni:

$$R = \frac{V}{i}$$

$$R = k \times \frac{L}{S}$$

nelle quali:

V = tensione in volt della corrente di eccitazione
i = ampère
k = resistività del rame = 0,017
L = lunghezza in metri del filo che forma l'avvolgimento
S = sezione dello stesso filo in mm.^{2}
R = resistenza in ohm del filo.

Queste formole sono per eccitazione a corrente continua. Dalle due formole si ricava:

$$\frac{V}{i} = k \times \frac{L}{S}$$

e da questa possiamo ricavare il valore della lunghezza *l* del filo

$$L = \frac{V \times S}{k \times i}$$

A seconda del tempo in cui l'elettromagnete deve rerestare sotto tensione calcoleremo la sezione del filo di eccitazione.

Gli ampère per mm.^{2} dipendono da questo tempo in ragione inversamente proporzionale, cioè quanto più breve sarà il tempo in cui l'avvolgimento deve restare sotto corrente tanto più alto può essere il numero di ampère per mm.^{2}.

Naturalmente ciò fino ad un certo limite, in modo da non correre rischio di fondere il filo.

TABELLA N. 9.

Corrente di fusione in ampère	Diametro in mm. del filo	Sezione in mm.^{2}
1	0,054	0,0008
2	0,086	0,0058
3	0,112	0,0098
4	0,134	0,0140
5	0,158	0,0190
10	0,249	0,0487
15	0,328	0,0836
20	0,395	0,1146
25	0,46	0,1665
30	0,52	0,2376
35	0,577	0,2592
40	0,63	0,3141
45	0,68	0,3611
50	0,73	0,4150
60	0,825	0,5338
70	0,915	0,5515
80	1,—	0,7854
90	1,08	0,9184
100	1,17	1,075
120	1,31	1,35

Per farci un'idea di questo rischio con la tabella N. 9 diamo gli ampère che provocano istantaneamente la fusione

del filo di rame nei diversi diametri. Come si vede si raggiungono i 100 ampère per mm.^{2} per fondere il filo, anche per tempi brevissimi.

Da questa tabella vediamo che per tempi brevissimi possiamo raggiungere i 25 ampère per mm.^{2} senza rischio di bruciare il filo.

Per avvolgimenti che devono restare sotto corrente continuamente non conviene superare i 3 ampère per mm.^{2}, arrivando così fino ai 15 ampère per avvolgimenti nei quali la corrente viene immessa solo per pochi secondi e con intervalli che permettono il raffreddamento.

Indicando con d gli ampère per mm.^{2} (*densità di corrente*) per trovare una corrispondente sezione S di una corrente di i ampère si ha la proporzione:

$$d : 1 = i : \text{s}.$$

Da cui possiamo ricavare i valori di s e di i.

$$s = \frac{i}{d}$$

$$i = d \times s$$

$$d = \frac{i}{s}$$

Esempio 14.

Un avvolgimento con 15 *ampère per mm.*^{2} ($d = 15$) *che sezione di filo deve avere per una corrente di* $i \times 0{,}3$ *ampère?*

$$s = \frac{0{,}3}{15} = 0{,}02 \text{ mmq.}$$

Esempio 15.

Nell'avvolgimento formato da filo della sezione di mm.^{2} 0,3 *circola una corrente di* 3 *ampère; quanti ampère passano per mm.*^{2}*?*

$$d = \frac{3}{0{,}3} = 10 \text{ ampère}$$

Nel calcolo di un elettromagnete a funzionamento continuo bisogna tener conto che a misura che l'avvolgimento si riscalda aumenta la resistenza e quindi diminuiscono gli ampère e di conseguenza il flusso Φ.

La resistenza alla temperatura t è data da:

$$Rt = R^0 \times (1 + 0{,}0038 \times t).$$

Supponiamo di aver calcolato un avvolgimento della resistenza $R^0 = 10$ ohm per l'alimentazione da una corrente di 100 volt.

Nell'avvolgimento passano

$$\frac{100}{10} = 10 \text{ ampère}$$

Ma se nel calcolo non abbiamo tenuto conto del riscaldamento dopo pochi minuti nei quali l'avvolgimento sarà sotto tensione aumenta la temperatura, supponiamo a 70°.

Vediamo ora qual'è la nuova resistenza.

$Rt = 10 \times (1 + 0{,}0038 \times 70) = 12{,}26.$

Gli ampère diminuiscono:

$$i = \frac{100}{12{,}26} = 8{,}19 \text{ ampère}$$

e per conseguenza diminuiscono le ($N \times i$) e quindi il flusso Φ e la forza F.

Per conoscere la temperatura t' che ha assunto un avvolgimento il quale misurato a t gradi abbia una resistenza R, quando questa diventa R' in seguito a riscaldamento possiamo pure adoperare la formola:

$$t_1 = \left(234{,}5 + t \times \frac{R_1}{R}\right) - 234{,}5$$

Esempio 16.

Un avvolgimento misurato a 20° *assorbe* 10 *ampère alimentato da una corrente a* 120 *volt.*

Dopo un certo tempo vediamo scendere l'amperometro a 6 *ampère per effetto del riscaldamento subìto dall'avvolgimento. Vogliamo conoscere che temperatura ha assunto:*

$$t_1 = \left(234{,}5 + 20 \times \frac{\left(\frac{120{,}6}{6}\right)}{\left(\frac{120}{10}\right)}\right) - 234{,}4 = 188$$

Stabilita la sezione del filo troveremo il diametro dalla tabella N. 11 la quale si dà pure il peso di ogni metro in grammi del filo di rame; i metri per chilogrammo e la resistenza in ohm per metro fino al diametro di mm. 1,9 ed in microohm per diametri superiori (11).

Il filo di avvolgimento deve essere isolato con doppia copertura, di seta per i piccolissimi diametri e di cotone, di lino comune, per diametri maggiori. La tabella N. 11 dà il diametro del filo coperto in mm.

Si trovano in commercio fili per avvolgimenti isolati con semplice vernice e smalto.

Vengono adoperati per avvolgimento di piccole bobine.

---

(11) Microohm = un milionesimo di ohm; quindi il filo di 2 mm. di diametro per il quale è segnata la resistenza per metro di 5538 microohm è uguale a $\frac{5538}{1000000} = 0{,}005538$.

TABELLA N. 10.

Diametro in mm.	Sezione in mmq.	Peso di 1 m. in grammi	Metri per kg.	Resistenza per metro in Ohm
0,09	0,00636	0,057	17.660	2,735
0,1	0,00785	0,07	14.804	2,215
0,18	0,0254	0,227	4.415	0,6836
0,20	0,0314	0,28	3.542	0,5538
0,30	0,0704	0,629	1.589	0,2472
0,35	0,0855	0,856	1.168	0,1809
0,36	0,0962	0,906	1.102	0,1709
0,37	0,1075	0,957	1.045	0,1618
0,38	0,1134	0,01	990,6	0,1543
0,39	0,1195	0,063	940,5	0,1457
0,4	0,126	1,118	894	0,1384
0,42	1,138	1,233	810,9	0,1256
0,45	1,159	1,416	706,4	0,1094
0,5	1,196	1,748	572	0,0886
0,55	0,238	2,115	472,9	0,07325
0,6	0,283	2,51	397,2	0,06145
0,65	0,332	2,954	338,6	0,05243
0,7	0,385	3,426	292	0,04525
0,8	0,503	4,474	223,5	0,03463
0,9	0,636	5,663	176,6	0,02735
1,0	0,785	6,900	143,04	0,02215
1,1	0,95	8,459	117,94	0,01831

Segue TABELLA N. 10.

Diametro in mm.	Sezione in mmq.	Peso di 1 m. in grammi	Metri per kg.	Resistenza per metro in Ohm
1,2	1,131	10,07	99,34	0,01538
1,3	1,327	11,81	84,64	0,01311
1,4	1,539	13,7	72,98	0,01131
1,5	1,767	15,73	68,57	0,009845
1,6	2,011	17,9	55,88	0,008653
1,7	2,27	20,2	49,50	0,007665
1,8	2,545	26,65	44,15	0,0068
1,9	2,835	25,24	39,62	0,006136
				in micro Ω
2,0	3,142	27,96	35,76	5538
2 1	3,464	30,83	32,44	5025
2,2	3,801	33,84	29,56	4577
2,3	4,155	36,98	27,04	4187
2.4	4,524	40,27	24,83	3845
2,5	4,909	43,69	22,89	3544
2,6	5,309	47,26	21,16	3277
2,7	5,726	50,96	19,62	3039
2,8	6,158	54,81	18,25	2826
2,9	6,605	58,79	17,01	2634
3	7,07	62,92	15,89	2462
3,1	7,55	67,18	14,89	2305
3,2	8,04	71,59	13,97	2163
3,3	8,55	76,13	13,14	2034
3,4	9,8	80,8	12,37	1916

Segue TABELLA N. 10.

Diametro in mm.	Sezione in mmq.	Peso di 1 m. in grammi	Metri per kg.	Resistenza per metro in micro Ohm
3,5	9,62	85,63	11,63	1809
3,6	10,18	90,6	11,02	1709
3,7	10,75	95,71	10,45	1618
3,8	11,34	101	9,906	1534
3,9	11,95	106,3	8,405	1457
4,0	12,57	111,8	8,94	1385
4,1	13,2	117,5	8,509	1318
4,2	13,85	123,3	8,109	1256
4,3	14,52	129,3	7,736	1198
4,4	15,21	135,3	7,388	1145
4,5	15,9	141,6	7,064	1094
4,6	16,62	147,9	6,76	1047
4,7	17,35	154,4	6,475	1003
4,8	18,1	161,1	6,209	961,4
4,9	18,86	167,9	5,958	922,6
5,0	19,64	174,8	5,722	886
5,5	22,76	211,5	4,729	732,3
6,0	28,27	251,6	3,972	615,4
6,5	33,18	295,4	3,386	524,3
7,0	38,49	342,6	2,92	452,5

Tabella N. 11.

Diametro del filo nudo mm.	Diametro del filo coperto in mm.		
	di seta	con due strati di cotone lino	con due strati di cotone comune
0,05	0,01	—	—
0,10	0,19	—	—
0,15	0,24	—	—
0,20	0,31	—	—
0.25	0,36	—	—
0,30	0,43	—	—
0,35	0,48	—	—
0,40	0,53	—	—
0,45	0,58	—	—
0.50	0,65	—	—
0,55	0,70	—	—
0,60	0,76	—	—
0,65	0,81	—	—
0,70	0,86	1,20	1,30
0,75	0,94	1,25	1,35
0.80	1	1,30	1,40
0,85	1,05	1,35	1,45
0,90	1,10	1,40	1,60
0,95	1,16	1,45	1,65
1,—	1,22	1,50	1,70
1,05	—	1,55	1,75
1,10	—	1,60	1,80

Segue TABELLA N. 11.

Diametro del filo nudo mm.	Diametro del filo coperto in mm.		
	di seta	con due strati di cotone lino	con due strati di cotone comune
1,15	—	1,65	1,85
1,20	—	1,70	1,90
1,25	—	1,75	1,95
1,30	—	1,80	2,05
1,35	—	1,85	2,10
1,40	—	1,90	2,20
1,45	—	1,95	2,25
1,50	—	2,03	2,30
1,55	—	2,10	2,35
1,60	—	2,15	2,40
1,65	—	2,20	2,45
1,70	—	2,25	2,50
1,75	—	2,35	2,60
1,80	—		
1,85	—	aumento	aumento
1,90	—	del diametro	del diametro
1,95	—	mm. 0,6	mm. 0,9
2	—		

Per trovare quanti strati di spire occorrono sul rocchetto per avvolgere M metri di filo dobbiamo procedere ad un calcolo di prova, non essendo possibile stabilirlo praticamente con una formola sola.

Trovato il diametro d del filo coperto dalla tabella N. 11 conoscendo la lunghezza interna b del rocchetto (fig. 28)

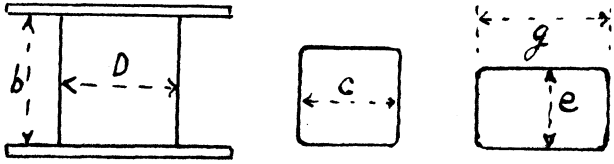


Fig. 28.

il numero n delle spire per ogni strato, qualunque sia la forma della sezione del rocchetto, ci sarà dato da:

$$n = \frac{b}{d}$$

Se il rocchetto è di sezione circolare di diametro D la lunghezza l_1 del filo avvolto nel primo strato ci è praticamente data da

$$l_1 = n \times 3{,}14 \times \mathrm{D}$$

Se il rocchetto è di sezione quadrata di lato C

$$l_1 = n \times 4 \times \mathrm{C}.$$

Se il rocchetto è di sezione rettangolare

$$l_1 = n \times 2\,(e + g).$$

E' chiaro che ogni strato successivo aumenta la lunghezza del filo in proporzione del suo diametro.

Se il rocchetto è di sezione circolare la lunghezza l_2 del filo nel secondo strato sarà:

$$l_2 = n \times 3{,}14 \times (\mathrm{D} + 2\,d).$$

Se il rocchetto è di sezione quadrata

$$l_2 = n \times (4 \times C + 4 \times d).$$

Se il rocchetto è di sezione rettangolare il secondo strato sarà lungo:

$$l_2 = n\,[(2 \times e) + (2 \times g) + (4 \times d)].$$

In questo stesso rocchetto la lunghezza del 3° strato sarà:

$$l_3 = n \times [(2 \times e) + (2 \times g) + (4 \times d) + (4 \times d)].$$

Quella del quarto strato sarà:

$$l_4 = n \times [(2 \times e) + (2 \times g) + (3 \times d) + (4 \times d) + (4 \times d)].$$

e così di seguito.

Così per la sezione circolare, fig. 28, la lunghezza del decimo strato di spire ci sarà data da:

$$l_{10} = n \times 3{,}14 \times (D + (2 \times 9 \times d)).$$

Ed ugualmente la lunghezza del decimo strato di spire avvolte sulla sezione quadrata (fig. 28), ci sarà data da:

$$l_{10} = n \times [(4 \times C) + (4 \times 9 \times d)].$$

Esempio 17.

Vogliamo avvolgere 600 *spire di filo coperto del diametro (sulla copertura) di* 3 *mm. sopra un rocchetto della sezione rettangolare di mm.* 50 × 100 *e della lunghezza di mm.* 120. *Trovare la lunghezza totale del filo.*

Essendo la lunghezza del rocchetto mm. 120 ogni strato contiene $\frac{120}{3} = 40$ spire.

Dovendo avvolgerne 600 dobbiamo avere:

$$\frac{600}{40} = 15 \text{ strati}$$

La lunghezza del 1° strato è:

$$l = 40 \times [(2 \times 50) + (2 \times 100)] \; 12.000$$

La lunghezza del 2° strato è:

$$l_2 = 40 \times [(2 \times 50) + (2 \times 100) + (4 \times 3)] = 12.480$$

La lunghezza del 3° strato è:

$$l_3 = 40 \times [(2 \times 50) + (2 \times 100) + (4 \times 3) + (4 \times 3)] = 12.960$$

Da queste tre misure vediamo che la seconda è maggiore di 480 mm. della prima e che la terza è maggiore di 480 mm. della seconda.

Vediamo cioè che la lunghezza di ogni strato successivo di spire aumenta di

$$n \times 4 \times d.$$

Infatti, nel nostro esempio $40 \times 4 \times 3 = 480$ mm. (Lo stesso avviene per la sezione quadrata).

Possiamo allora, traducendo le misure in centimetri, fare un conto aritmetico, cioè una semplice somma fermandoci quando avremo raggiunto il numero delle N spire (nel nostro esempio 17).

E faremo nel modo seguente:

1°	strato	cm.	.		.		1200 +
2°	»	»	1200	+	48	=	1248
3°	»	»	1248	+	48	=	1296
4°	»	»	1296	+	48	=	1344
5°	»	»	1344	+	48	=	1392
6°	»	»	1392	+	48	=	1400
7°	»	»	1400	+	48	=	1448
8°	»	»	1448	+	48	=	1496
9°	»	»	1496	+	48	=	1544
10°	»	»	1544	+	48	×	1592
11°	»	»	1592	+	48	=	1640
12°	»	»	1640	+	48	×	1688
13°	»	»	1688	+	48	=	1736
14°	»	»	1736	+	48	×	1784
15°	»	»	1784	+	48	=	1832

22.640

Cioè metri 226,40 di filo.

Per la sezione circolare, mettendo per esempio:

$n = 200$

D = 100 (fig. 28)

$d = 10$.

Abbiamo nel 1° strato una lunghezza di filo di:

$$l_1 = 200 \times 3{,}14 \times 100 = 62{,}800.$$

Nel 2° strato:

$$l_2 = 200 \times 3{,}14 \times [100 + (2 \times 10)] = 75.360$$

Nel 3° strato

$$l_3 = 200 \times 3{,}14 \times [100 + (2 \times 10) + (2 \times 10)] = 87.920$$

Da queste lunghezze vediamo che la differenza tra la terza e la seconda è di 12.560 ed è uguale a quella tra la seconda e la prima ed è uguale a ($n \times 3{,}14 \times 2 \times d$) infatti:

$$200 \times 3{,}14 \times 2 \times 10 = 12.560.$$

Ne consegue che pure per la sezione circolare possiamo procedere come abbiamo fatto per le sezioni quadrate e rettangolari mediante un conteggio progressivo col quale aggiungeremo ad ogni strato successivo il valore di

$$n \times 3{,}14 \times 2 \times d.$$

Esempio 18.

Vogliamo avvolgere 200 *spire sopra un rocchetto di sezione circolare del diametro di* 100 *mm. e della lunghezza di* 300 *mm. di filo del diametro di* 5 *mm.* (*sopra copertura*). *Trovare la lunghezza totale del filo.*

Ogni strato di spire ne contiene

$$\frac{300}{5} = 60$$

Numero strati = 9.

Lunghezza 1° strato:

$$l = 60 \times 3{,}14 \times 100 = 18.840 \text{ mm.}$$

Aumento di lunghezza per ogni strato successivo:

$$60 \times 3{,}14 \times 2 \times 5 = 1880 \text{ mm.}$$

Dobbiamo avvolgere metri 240 di filo.

Ma trovato il valore di (N × *i*) ed assegnato un certo valore, (per una prima prova) ad N ed a *i* e di conseguenza stabilita la sezione del filo in base ad *i*, abbiamo trovato, in base a questi valori, la lunghezza del filo.

Dobbiamo ora controllare se la sua resistenza ohmica, trattandosi di corrente continua, o l'impedenza trattandosi di corrente altenata, della bobina costruita in base a questi valori sono ad essi corrispondenti.

1°	strato	cm.	.	.		= 1884
2°	»	»	1884	+	188	= 2072
3°	»	»	2072	+	188	= 2260
4°	»	»	2260	+	188	= 2448
5°	»	»	2448	+	188	= 2636
6°	»	»	2636	+	188	= 2824
7°	»	»	2824	+	188	= 3012
8°	»	»	3012	+	188	= 3200
9°	»	»	3200	+	188	= 3388

Totale cm. 24.024

Esempio 19.

Abbiamo trovato nell'esempio N. 17 che con 226 metri di filo — del diametro (coperto) di 3 mm. e che in base alla tabella 11 sarà di 2,1 mm. nudo e quindi di mmq. 3,46 di sezione (tabella 10) — formiamo una bobina di 600 spire. Supponiamo che abbiamo calcolato il diametro del filo in base ad una intensità di corrente di 25 ampère perchè dovevamo avere:

$$N \times i = 9000.$$

Dobbiamo ora calcolare la resistenza ohmica dell'avvolgimento e possiamo farlo in base alla tabella N. 10 la quale ci dice che il filo del diametro di mm. 2,1 ha una resistenza di 5025 microohm per metro quindi avendo noi 226 metri di questo filo, abbiamo in totale una resistenza di:

$$226 \times 0{,}005 = 1{,}13 \text{ ohm.}$$

Ed una perdita di tensione data da:

$$E = R \times I = 1{,}13 \times 15 = 19 \text{ volt.}$$

Ma dovendo noi alimentare l'elettrocalamita per la quale abbiamo calcolato questa bobina con una corrente continua a 110 volt ci accorgiamo subito che i valori assegnati ad N ed *i* sono stati sbagliati. Noi dobbiamo aumentare il valore delle spire totali N e diminuire il valore dell'intensità *i*. Avremo così un filo più sottile e di maggiore lunghezza, quindi di maggiore resistenza R in modo da avere

$$R \times i = 110 \text{ volt.}$$

Dopo diverse prove di calcolo troveremo il valore di N, di *i* e di R corrispondente alla tensione V.

Trovata la intensità *i* minima di corrente se è necessario aumenteremo, per avere R più grande, la lunghezza del filo e quindi il numero delle spire, dato che un aumento delle N $\times$ *i* calcolate può portare vantaggio e non disturbo nel funzionamento dell'elettrocalamita che vogliamo costruire.

27. - Materiali isolanti.

I materiali isolanti che si adoperano nelle costruzioni elettromeccaniche sono molti ma noi ricordiamo solo i principali che possono servire al nostro scopo.

Il LEGNO è un buon isolante quando lo si è bene essiccato sottoponendolo ad un riscaldamento prolungato di circa 90°. Con molta facilità assorbe l'umidità e perciò volendolo adoperare quale isolante occorre dopo essiccato, farlo bollire per qualche tempo nella paraffina o nell'olio minerale, oppure verniciandolo con vernice isolante quando è ancora caldo, in modo da riempire di materia isolante i pori della struttura legnosa. Sottoposto a questo trattamento, qualunque qualità di legno diventa discreto isolante.

Possiamo adoperarlo per fare i rocchetti delle bobine, non disponendo di altro materiale migliore.

La FIBRA VULCANIZZATA si ricava dalla segatura di speciali legni americani. Si fabbrica in lastre di spessore da mm. 0,3 a mm. 40, in bastoni ed in tubi.

Di solito è di colore rosso.

Si può tornire, bucare, limare, ecc., con molta facilità.

Assorbe facilmente l'umidità dell'aria, si deforma ed il suo potere isolante diminuisce di molto.

La MICA si può dire l'isolante più importante che si conosca per le applicazioni che ha nelle costruzioni elettromeccaniche, date le sue ottime qualità: non assorbe umidità e resiste senza deformarsi alle alte temperature che si possono avere negli apparecchi elettromeccanici.

E' trasparente come il vetro; si sfalda molto facilmente e perciò può essere suddivisa in fogli sottilissimi; è elastica pieghevole; di color bianco-verdognolo o del colore dell'ambra. E' un ottimo isolante: una lastra dello spessore di circa 0,25 mm. è perforata da una tensione di 25.000 volt.

Però in contatto dell'olio perde per circa metà le sue proprietà isolanti.

La MICANITE si fabbrica impastando scaglie di mica con una vernice che le unisce, ottenendo così un materiale atto

a poter subire forme variate, di resistenza meccanica maggiore della semplice mica, pur serbando quasi tutte le preziose qualità della mica stessa.

Non resiste però alle alte temperature perchè la vernice si liquefa.

La CARTA ED I SUOI DERIVATI è molto adoperata nelle costruzioni elettromeccaniche.

Come abbiamo detto, si adopera, in fogli sottili ad isolare l'una dall'altra le lamiere che formano i *nuclei*.

Si fabbricano fili con isolamento di carta.

Si usa la carta di manilla e la carta seta giapponese, essiccata ed impregnata nel vuoto di sostanze liquide isolanti.

Molto adoperato nelle costruzioni delle bobine è il cartone compresso, detto *presspahn*, semplice, paraffinato od oleato, lucido e di colore giallo o grigio ed il *leatheroid* (isolante americano) che è una imitazione del cuoio ed è molto duro e quasi sempre di color grigio.

Abbiamo poi: la carta pesta ed i cartoncini laccati con i quali si fabbricano i rocchetti delle bobine; il *cartone micanizzato* che è cartone con micanite interna e si trova in commercio nello spessore di mm. 0,3 ed oltre; la *carta oleata* tipo Sterling di spessore di mm. 0,4 ed oltre.

Tra i TESSUTI, la seta, il cotone, il lino, la canapa, la iuta, sono adoperati per l'isolamento dei fili.

Questi materiali vengono adoperati in fili od in tessuto e quasi sempre vengono poi essiccati ed impregnati e spalmati di olio o di vernici isolanti.

La BACHELITE è un buon isolante che si adopera per la confezione di scatole di protezione (coperchi) ecc. ecc. e con essa vengono pure fabbricati i rocchetti per alcuni tipi di bobine.

Infine abbiamo gli isolanti in cloruro di polivinile, in vipla e specialmente ai siliconi, che sono i più perfetti e moderni.

Un buon isolante è la CERA VERGINE ed anche la PARAFFINA (è ricavata dagli oli pesanti o dal catrame). Uno spessore di un millimetro di paraffina resiste alla tensione di 11.500 volt. Fonde a circa 45°.

Le VERNICI ISOLANTI contribuiscono molto ad aumentare l'isolamento del filo di avvolgimento ed a proteggerlo dall'umidità.

Una buona vernice isolante deve formare un velo continuo ed uniforme; deve essere elastica e non deve nè rompersi nè fondersi sotto l'azione delle vibrazioni meccaniche; non deve alterarsi nè col tempo, nè con la temperatura; nè deve assorbire umidità; deve essere priva di acidi e deve essiccarsi rapidamente.

Fra i tipi di vernici che si trovano in commercio la più semplice ed anche la più antica vernice è quella formata con *gomma lacca sciolta nell'alcool*. Ha però il difetto di disgregarsi dopo non molto tempo sotto l'azione delle vibrazioni. Un velo dello spessore di 1 mm. fatto con questa vernice, può avere una rigidità di circa 2000 volt.

Ma esistono in commercio vernici isolanti sia del tipo sterling ad alcool, incolore o nere, sia di altri tipi ad essiccazione rapida nell'aria e vernici sterling ad olio ad essiccazione lenta.

I MATERIALI ISOLANTI vengono quasi tutti danneggiati dal calore e dall'umidità. *La resistenza interna specifica o resistività* (la quale si misura stabilendo una differenza di potenziale fra le due faccie opposte e parallele) diminuisce coll'aumentare della temperatura.

L'umidità deteriora rapidamente gli isolanti diminuendone la *resistività*, occorre perciò prima dell'uso procedere all'essiccamento.

La resistenza alla perforazione interna dell'isolante è di una speciale importanza nelle costruzioni elettromeccaniche; essa si misura in rapporto alla tensione necessaria per produrre la perforazione di un isolante di determinato spessore. Questa resistenza è detta pure *rigidità elettrica.*

La rigidità non è proporzionale allo spessore dell'isolante ma diminuisce coll'aumentare dello spessore; ad esempio: un isolante dello spessore di 0,2 mm. è perforato alla tensione di 1500 volt; lo stesso isolante dello spessore di 4 × 0,2 = 0,8 mm. non è perforato alla tensione di 4 × 1500 = 6000 volt, ma solamente a 4500. La *rigidità* diminuisce pure col crescere della pressione e della temperatura.

Si è poi notato che impiegando isolanti di forti spessori la differenza totale di tensione non si divide uniformemente nei vari strati; ma gli strati interni dell'isolante a parità di spessore sopportano una tensione maggiore di quelli esterni.

Abbiamo creduto intrattenerci su gli isolanti perchè nelle costruzioni delle bobine l'isolamento deve essere ben curato.

28. - Costruzione dell'avvolgimento.

L'avvolgimento del filo per formare le bobine è operazione molto semplice, ma richiede un'attrezzatura, sia pure rudimentale, per eseguire il lavoro con sollecitudine e con perfezione.

Si fabbricano rocchetti già formati di bakelite e di cartone compresso, ma questi vanno bene per chi deve eseguire lavori in serie e non per l'elettricista che o per divertimento ed istruzione pratica o per volerla utilizzare in qualche

apparecchio di sua ideazione, costruisce una sola elettrocalamita, o diverse, ma di differenti forme e grandezze.

Un rocchetto si può costruire in legno di buona qualità (ad esempio bosso) oppure di fibra o di cartone *presspahn.*

Trattandosi di un solenoide nel quale il nucleo di ferro deve entrare ed uscire a dolce strofinìo, non è certo consigliabile fare avvenire questo strofinìo tra il ferro del nucleo ed il materiale isolante del rocchetto.

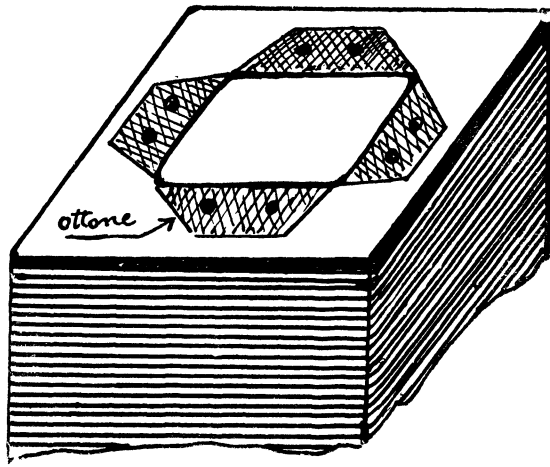


Fig. 29.

In questo caso si rivestirà la superficie interna del rocchetto di una sottile lamina di ottone che la si ripiegherà al disopra ed al disotto come mostra lo schizzo della figura 29 dato che l'ottone appartiene ai materiali diamagnetici.

L'avvolgimento del filo sul rocchetto può essere fatto a mano, se si tratta di poche spire e di diametro maneggevole, altrimenti va fatto sopra un tornio; piazzandovi il rocchetto nella maniera più conveniente possibile in modo che possa girare con una certa lentezza.

Anche il rotolo di filo di avvolgimento deve essere disposto in modo che il filo possa svolgersi, per avvolgersi sulla bobina che gira sul tornio, regolarmente e con una medesima tensione meccanica.

Nelle fabbriche di costruzioni elettromeccaniche esistono speciali macchine che eseguono il lavoro con molta celerità e precisione meccanica. A queste macchine è applicato un contagiri il quale registra il numero dei giri della bobina i quali sono, in ogni istante in cui si fa la lettura, uguali al numero delle spire che si sono avvolte sulla bobina.

Anzi in alcune di queste macchine al contagiri v'è applicato un meccanismo che avvisa acusticamente quando è stato avvolto quel numero di spire per il quale l'apparecchio è stato graduato.

Nel nostro caso, di costruzione con mezzi di fortuna, non potendo disporre di un tornio, possiamo costruire una rudimentale macchinetta di legno facendo tornire i pezzi, con poca spesa, da un tornitore da legno. Possiamo, ad esempio, piazzare sopra un'asse di legno (che poi assicureremo, con delle viti o dei chiodi, ad un tavolo) sul quale fisseremo un pezzo di legno duro che faccia da supporto S un albero, pure di legno A tornito in modo che possa girare nel supporto e nel quale si possa infilare la bobina B — che nello schizzo della fig. 30 abbiamo segnata, per maggiore chiarezza, in sezione. Una manovella fatta con una sbarretta di ferro ed un manico da lima, serve a far girare l'albero e quindi la bobina. Naturalmente il supporto S deve essere di spessore tale che non faccia oscillare

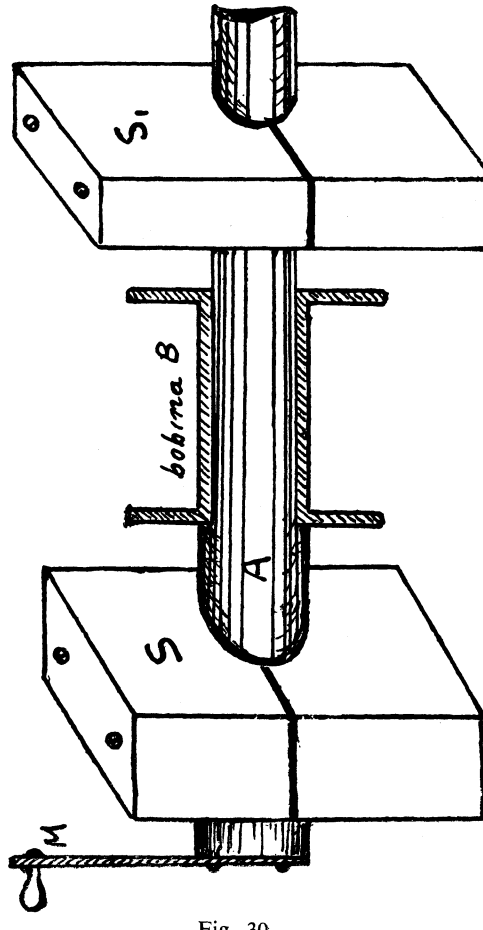


Fig. 30.

l'albero, oppure si può fare l'albero più lungo e mettere due supporti, quello fisso S ed uno S' da fissarsi — dopo aver infilato la bobina — dall'altra parte.

Il capo della prima spira o si infila in un foro praticato nel fondo della bobina — oppure lo si lascia nell'interno della bobina, ma isolandolo però dalle spire mediante una rondella spaccata di cartone presspahn la quale viene infilata a mezzo della spaccatura S, fig. 31, sulla bobina e disposta in modo da isolare il capo del filo dall'altro delle spire, come mostra schematicamente la figura 32.

Naturalmente l'isolamento sarà fatto in relazione alla tensione della corrente; una bobina per 8 o 12 volt sarà costruita con isolamento differente che una bobina di 220 o 260 volt.

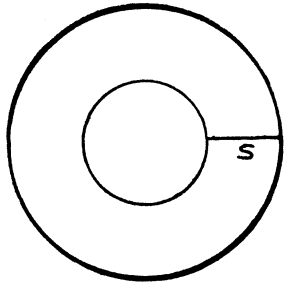


Fig. 31.

Innanzitutto vediamo quale tensione esiste tra spira e spira, riferendoci alla figura 33 che rappresenta mezza bobina in sezione.

Supponiamo in totale 66 spire avvolte in sei strati, 11 spire per strato e supponiamo che la corrente entri da *b* ed esca da *a*. Supponiamo che la tensione tra *a* e *b* sia di 66 volt.

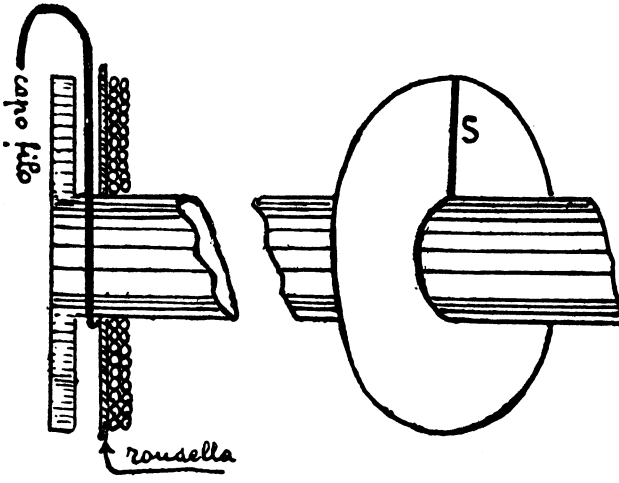


Fig. 32.

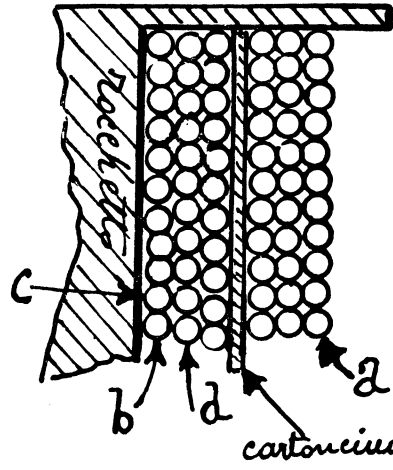


Fig. 33.

La differenza di potenziale tra la spira *b* e quella *a* è di $\frac{66}{66} = 1$ volt; ma la differenza tra *b* e *d* è di $1 \times 22 = 22$ volt, così la differenza tra *a* e *b* è di 66 volt .

Ne consegue che trattandosi di tensioni più alte è conveniente disporre tra un certo numero di strati di spire ed i successivi un isolante, come per esempio un pezzo di cartoncino presspahn o di tela sterligata.

E conviene per ogni strato di spire passare una mano di vernice isolante.

Trattandosi di filo molto sottile il capo d'inizio dell'avvolgimento si salda accuratamente (12) con un pezzo di filo di diametro maggiore, in modo da fare uscire fuori della bobina (e come un capo della bobina stessa) un filo di resistenza meccanica maggiore. La stessa cosa si fa finito l'avvolgimento; il secondo capo si salda con un altro

---

(12) Per ottenere una buona saldatura è necessario che i due fili da unire siano ben puliti e che essi durante la saldatura vengano protetti dall'ossidazione che produce l'ossigeno dell'aria.

E' consigliabile quindi pulire con tela smeriglio e mai con mezzi chimici che attaccano il metallo.

Come materia *disossidante*, non si adopererà mai il cloruro di zinco (comunemente detto acido) il quale se da una parte facilita la saldatura, dall'altra intacca il metallo e col tempo lo ossida producendo « *verderame* » fino a determinare una corrosione completa. Inoltre il cloruro di zinco entra nell'isolante (copertura del filo) che assorbendolo viene a diminuire di molto il potere isolante.

Nelle costruzioni elettromeccaniche per le saldature si adopera esclusivamente « *colofonia* » (è una materia giallastra, di aspetto vetroso, che si ricava dai residui della distillazione della resina di alcune piante; è una sostanza isolante che si polverizza con le dita e si scioglie facilmente nell'alcool formando una pasta più o meno densa a seconda della quantità di alcool).

pezzo di filo di diametro maggiore in modo che pure il secondo capo sia più resistente.

Quando le spire sono fatte con filo di piccolissimo diametro (detto filo capillare) a bobina finita, cioè dopo l'ultimo strato di spire la si fascia con della sottile fettuccia di lino che poi si vernicerà con vernice isolante.

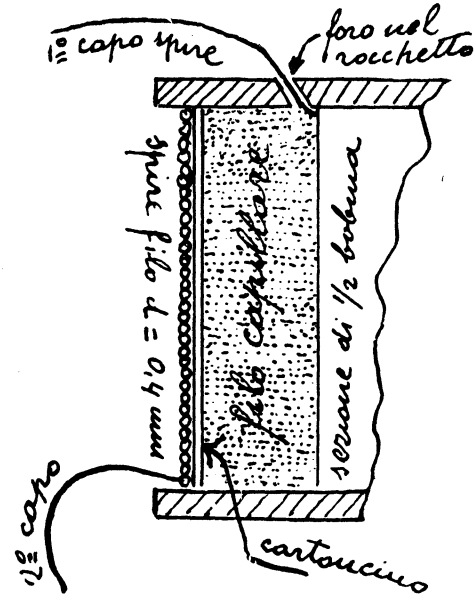


Fig. 34.

Alcune fabbriche, per curare l'estetica, fanno un ultimo strato di spire con filo di diametro più grande (0,4 a 0,6 mm.) avvolgendolo sopra un pezzo di cartone *presspahn* av-

volto sopra l'ultimo strato di filo capillare, come mostra lo schizzo della figura 34.

Incominciando da sinistra si avvolge il primo strato di filo, con quella tensione meccanica bastevole a far restare il filo aderente alla bobina, e facendo aderire ogni spirale con la successiva, andando verso sinistra fino alla fine del rocchetto, poi girando questo sempre nello stesso senso si avvolge il secondo strato di spire andando da sinistra verso destra e così di seguito, fino all'ultimo strato.

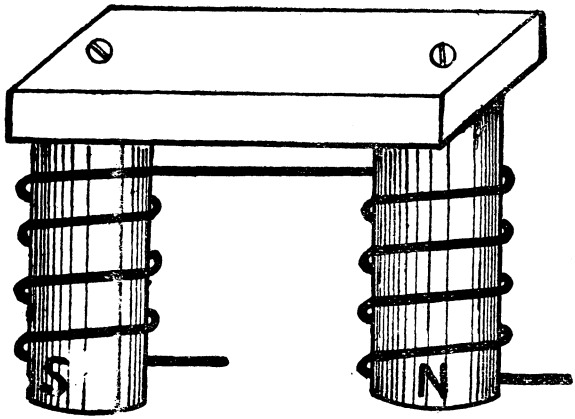


Fig. 35.

Nelle elettrocalamite a due nuclei le due bobine vengono collegate in modo che gli avvolgimenti seguono il percorso indicato nella fig. 35.

Ricordarsi quindi che il senso dell'avvolgimento sulle bobine deve essere tale da far nascere alle estremità dei due nuclei dei poli di nome contrario.

Perciò bisogna che il senso dell'avvolgimento nell'apparecchio supposto raddrizzato (vale a dire rettilineo) sia lo sesso nelle due bobine (fig. 36 e 37).

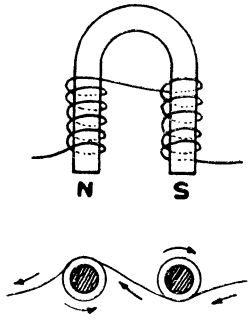


Fig. 36.

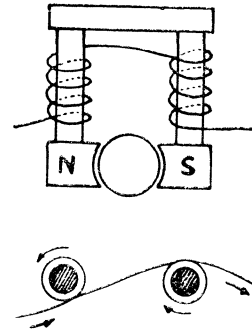


Fig. 37.

29. - Calcolo del peso dell'elettrocalamita.

Può anche interessarci di conoscere quale sarà il peso totale dell'elettrocalamita che abbiamo calcolata, quando poi l'avremo costruita.

Possiamo dividere il peso in tre parti:

a) quello del ferro il quale come abbiamo detto nella nota N. 8 ha un peso specifico di 7 per la ghisa e di 7,58 a 8,68 per il ferro duttile;

b) quello del rame che forma l'avvolgimento, il quale possiamo ricavarlo dalla tabella 10 e che ci dà il peso per grammi in metro dei diversi diametri di filo;

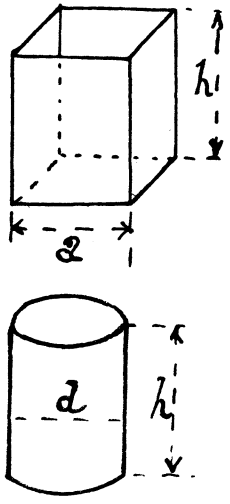
c) quello dell'isolante che forma il rocchetto, il cartoncino presspahn e la copertura del filo.

Peso che possiamo determinare in base ad un coefficiente che può variare dall'1 al 2% degli altri due pesi e perciò quasi trascurabile.

La cubatura del ferro: del nucleo dell'armatura e del giogo la calcoleremo in base ai pezzi che abbiamo disegnati riferendoci alle misure di volume dei solidi (13) ed alla formola

$$P = v \times d$$

(13)



$$\text{Volume} = a \times b \times h$$

$$\text{Volume} = \frac{3{,}14 \times d^2}{4} \times h$$

Fig. 38.

P = peso in kg.
V = volume in dm^3 (14).
d = peso specifico.

Esempio 20.

Qual'è il peso di una elettrocalamita avente due nuclei di ferro fucinato di sezione circolare diametro 10 *cm., altezza* 30 *cm., uniti da un giogo formato da una sbarra di ferro fucinato di cm.* 20 × 7 × 60 *e di una armatura dello stesso ferro di cm.* 15 × 10 × 50.

L'avvolgimento è formato da 400 *metri di filo di rame del diametro di* 5 *mm.*

Peso del ferro:

$$\text{Nuclei } V = 2 \times \frac{3{,}14}{4} \times 10^2 \times 30 = 4710$$

$$\text{Giogo } V = 20 \times 7 \times 60 = 8420$$

$$\text{Armatura } V = 15 \times 10 \times 50 = 7500$$

Totale 20.630 $cm.^3$

20.630 $cm.^3$ = 20,6 $dm.^3$ quindi essendo 8 il peso specifico del ferro fucinato:

$$P = 8 \times 20{,}6 = 164{,}800 \text{ kg.}$$

---

(14) Le misure di volume hanno i seguenti valori:
m^3 (metro cubo) = 1
dm^3 (decimetro cubo) = 0,001 di m^3
cm^3 (centimetro cubo) = 0,000001 di m^3.

Peso del rame:

Il filo da 5 mm. di diametro pesa gr. 174,8.

$$400 \times 174{,}8 = 69.920 \text{ kg.}$$

Peso isolanti:

$$0{,}05 \times (164.800 + 69.920) = 11{,}735 \text{ kg.}$$

Peso totale dell'elettrocalamita:

$$164.800 + 69.920 + 11{,}735 = 246.400 \text{ kg.}$$

30. - Esempi di calcolo.

Dopo quanto abbiamo detto in merito alle leggi teoriche dei fenomeni magnetici e del campo elettromagnetico, dopo aver passato in rassegna tutte le formole aritmetiche derivate da queste leggi, chiarendole con esempi; dopo aver parlato dei materiali che formano l'elettrocalamite, del calcolo dell'avvolgimento e della costruzione delle bobine, siamo ora in grado di calcolarne e costruirne una.

Ma per meglio chiarire le idee le fissiamo su esempi diversi di elettrocalamite adatte ad usi differenti.

Esempio 21.

Vogliamo costruire una piccola elettrocalamita ad una sola bobina alimentata dalla corrente di una pila: *volt* 1,9 *e che abbia la forza di attirare la piccola armatura* a *per chiudere un circuito* m, n (fig. 39).

Fisseremo il nucleo di ferro ad una sbarretta *b* alla quale fisseremo in *c* un pezzo di molla in nastro che abbia

la forza di tenere constantemente l'armatura *a* lontana dal nucleo formando l'interferro δ.

Per attirare l'armatura è bastevole uno sforzo di 15 grammi.

Fissiamo le dimensioni del nucleo di sezione circolare del diametro di 8 mm. e della lunghezza di 30 mm.

La sezione del nucleo sarà di 50 mmq. (0,5 cmq.).

Troviamo il valore di B in base alla formola:

$$B = 5000 \times \sqrt{\frac{F}{S}} = 5000 \times \sqrt{\frac{0{,}015}{0{,}5}} = 1{,}000$$

Calcoliamo che l'interferro δ sia di 2 mm. Dalla tabella 5 sappiamo che le amperspire corrispondenti per B = 1000

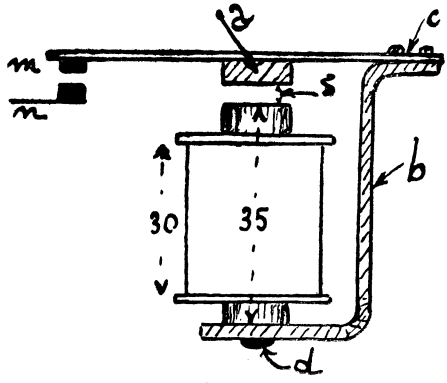


Fig. 39.

sono per il ferro fucinato *a* = 0,9 e per l'aria (interferro) *a* = 800.

Noi possiamo calcolare la lunghezza del circuito magnetico in base 4 × 35 = 140 mm. perchè le linee di forza per andare da un polo all'altro passano per la sbarretta del ferro *b*. Abbiamo:

$$N \times i = 14 \times 0{,}9 + 0{,}2 \times 800 = 172.$$

Proviamo ad avvolgere un filo del diametro 0,3 (che coperto in seta diventa di 0,43) dal quale faremo passare 0,2 ampère quindi abbiamo:

$$N = \frac{172}{0{,}2} = 860 \text{ spire.}$$

Essendo il rocchetto alto 30 mm. per ogni strato si avvolgeranno:

$$\frac{30}{0{,}43} = 70 \text{ spire.}$$

Essendo il nucleo del diametro di 8 mm. il rocchetto sarà di 10 mm.

Dovendo avvolgere 860 spire dobbiamo avere

$$\frac{860}{70} = 12 \text{ strati.}$$

Per trovare la lunghezza possiamo prendere quella dello strato intermedio: il 6° ed avremo:

$$l_6 = 70 \times 3{,}14 \times [10 + (2 \times 5 \times 0{,}43)] = 3146$$

e la lunghezza totale sarà:

$$3146 \times 12 = 37752 \text{ mm.}$$

metri 37,55.

Dalla tabella 10 rileviamo che il filo del diametro 0,3 ha una resistenza di 0,25 ohm per metro quindi la resistenza totale è:

$$0{,}25 \times 37{,}75 = 9{,}43.$$

Ed infatti dalla formola $E = i \times R$ abbiamo:

$$9{,}43 \times 0{,}2 = 1{,}9 \text{ volt.}$$

Esempio 22.

Calcolare un elettromagnete doppio per alzare pezzi di ghisa del peso di 500 *kg. costruito con nucleo di ferro lamellato. La lunghezza del circuito magnetico è di* 220 *cm. di cui* 140 *per il nucleo lamellato e cm.* 80 *per l'armatura di ghisa. L'elettromagnete viene avvicinato al peso (armatura) e quindi la portata dei* 500 *kg. s'intende quando i poli si trovano in contatto coll'armatura* (fig. 40). *L'eccitazione viene fatta con corrente continua a* 150 *volt.*

Per trovare la sezione dei poli applichiamo la formola

$$\left(S = \frac{F \times 5000^2}{B^2}\right)$$

Mettendo $B = 10.000$ e per $F = \frac{500}{2}$ essendo due le superficie attraenti, abbiamo:

$$S = \frac{250 \times 25.000.000}{100000000} = 62{,}5 \text{ cm.}^2.$$

E siccome il nucleo è di sezione quadrata, ogni lato sarà di 8 cm. (tenendo conto che gli angoli sono arrotondati).

Il flusso totale Φ è dato dalla formola:

$$\Phi = B \times S.$$

Quindi nel nostro caso:

$$\Phi = 10.000 \times 62{,}5 = 625.000.$$

Dobbiamo ora trovare le amperspire totali $N \times i$ per produrre questo flusso.

Innanzi tutto notiamo che siccome l'elettromagnete deve alzare dei pezzi di ghisa non si può avere un contatto perfetto tra i poli e l'armatura (costituita dal pezzo di ghisa che deve alzare) pertanto dobbiamo calcolare un certo interferro dovuto alla imperfezione dei contatti che per sicurezza di calcolo supponiamo di 3 mm. che diventano 6 essendo due le superfici di contatto (poli).

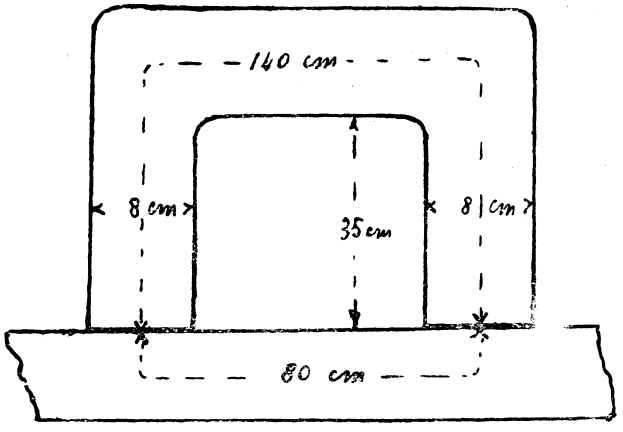


Fig. 40.

Dobbiamo quindi dividere il circuito magnetico in tre parti che poi sommeremo.

1) Lunghezza del nucleo lamellato.
2) lunghezza dell'armatura di ghisa.
3) lunghezza dell'interferro.

La sezione del circuito è sempre però di cm.^{2} 62,5. Nella tabella 5 toviamo i tre valori di a corrispondenti alle amperspire per ogni cm. di lunghezza del circuito magnetico in corrispondenza del valore B che noi abbiamo fissato in 10.000.

Abbiamo quindi:

per il ferro lamellato (nucleo)	$a = 2{,}4$
per la ghisa (armatura)	$a = 150$
per l'aria (interferro)	$a = 800$

Essendo la lunghezza del circuito magnetico formato da:

cm. 140 nucleo lamellato
cm. 80 armatura ghisa
cm. 0,6 interferro

$$N \times i = (140 \times 2{,}4) + (80 \times 150) + (0{,}6 \times 8000) = 17255$$

Essendo V = 150 la tensione di alimentazione dobbiamo trovare i valori della intensità di corrente i corrispondente alla lunghezza l del filo che forma le N spire, in base alla resistenza R di detto filo.

Siccome il lavoro dell'elettrocalamita è continuativo dobbiamo fissare una sezione di filo che non venga a riscaldarsi oltre ad una temperatura ammessa.

Fissiamo per un primo orientamento una densità di corrente di 3 ampère per mmq. e proviamo a calcolare in

base a $i = 5$ ampère a cui corrispondono una sezione di filo di mmq. 1,7 e quindi $d = 1{,}5$ che coperto di cotone isolante diventa del diametro di 2,3 mm.

Avremo:

$$\frac{\text{amperspire } 17525}{\text{ampère } 5} = 3500 \text{ spire.}$$

La lunghezza dei rocchetti è di 300 mm. quindi ogni strato contiene:

$$\frac{300}{2{,}3} = 130 \text{ spire.}$$

Il lato del rocchetto (fig. 40) misura cm. 8,5 quindi la lunghezza del 1° strato ci è data da:

$$l' = n \times 4 \times C \text{ (fig. 28)}$$

ossia:

$$l' = 130 \times 4 \times 8{,}5 = 4420 \text{ cm.}$$

La lunghezza di ogni strato aumenta di:

$$n \times 4 \times d$$

ossia:

$$130 \times 4 \times 0{,}23 = 120 \text{ cm.}$$

Le 3500 spire dobbiamo avvolgerle su due rocchetti, quindi per ogni rocchetto

$$\frac{3500}{2} = 1750 \text{ spire}$$

e siccome ogni strato contiene 130 spire dobbiamo avvolgere su ogni rocchetto

$$\frac{1750}{130} = 14 \text{ strati.}$$

1°	strato	cm.	.	.	.	4420
2°	»	»	4420	+	120	= 4540
3°	»	»	4540	+	120	= 4660
4°	»	»	4660	+	120	= 4780
5°	»	»	4780	+	120	= 4900
6°	»	»	4900	+	120	= 5020
7°	»	»	5020	+	120	= 5140
8°	»	»	5140	+	120	= 5360
9°	»	»	5360	+	120	= 5480
10°	»	»	5480	+	120	= 5600
11°	»	»	5600	+	120	= 5720
12°	»	»	5720	+	120	= 5840
13°	»	»	5840	+	120	= 5960
14°	»	»	5960	+	120	= 6080
					Totale	73500

Corrispondenti a m. 735. E in totale per i due rocchetti a m. 735 × 2 = 1470.

Dalla tabella 10 troviamo che il filo della sezione di mmq. 150 ha la resistenza di 0,0076 al metro, la resistenza totale sarà:

$$1470 \times 0{,}0076 = 11{,}17 \text{ ohm.}$$

Nel filo avremo una perdita di tensione data da

$$E = R \times i$$
$$E = 11{,}7 \times 5 = \text{volt } 55{,}85.$$

E siccome noi dobbiamo alimentare l'elettrocalamita con 150 volt che devono essere completamente assorbiti dalla resistenza R troviamo che il nostro primo calcolo non va bene.

Allora lo rifacciamo fissando una intensità di corrente minore: proviamo con 2,3 ampère.

Avremo:

$$\frac{\text{Amperspire } 17255}{\text{ampère } 2{,}3} = 7550 \text{ spire}$$

sezione del filo 0,78 mmq. diametro del filo coperto con due strati cotone lino mm. 1,5.

Ogni strato contiene:

$$\frac{300}{1{,}5} = 200 \text{ spire.}$$

Lunghezza del 1° strato:

$$l_1 = 200 \times 4 \times 8{,}5 = 6800.$$

Aumento di lunghezza per ogni strato:

$$200 \times 4 \times 0{,}15 = 120.$$

Su ogni rocchetto:

$$\frac{7550}{2} = 3775$$

Numero degli strati per rocchetto:

$$\frac{3775}{200} = 19$$

1°	strato	cm.	.	.	.	6800
2°	»	»	6800	+	120	= 6920
3°	»	»	6920	+	120	= 7040
4°	»	»	7040	+	120	= 7160
5°	»	»	7160	+	120	= 7280
6°	»	»	7280	+	120	= 7400
7°	»	»	7400	+	120	= 7520
8°	»	»	7520	+	120	= 7640
9°	»	»	7640	+	120	= 7760
10°	»	»	7760	+	120	= 8100
12°	»	»	8100	+	120	= 8220
13°	»	»	8220	+	120	= 8340
14°	»	»	8340	+	120	= 8460
15°	»	»	8460	+	120	= 8580
16°	»	»	8580	+	120	= 8700
17°	»	»	8700	+	120	= 8820
18°	»	»	8820	+	120	= 8940
19°	»	»	8940	+	120	= 9060

140320 cm.

E per i due rocchetti:

$$1403 \times 2 = 2806 \text{ metri.}$$

Resistenza ohmica per metro 0,022 (tabella 10).
Resistenza totale:

$$2806 \times 0{,}022 = 61{,}7 \text{ ohm.}$$

Perdita di tensione:

$$61{,}7 \times 2{,}3 = 142 \text{ volt.}$$

Ed essendo la nostra tensione di 150 volt abbiamo in questo caso una differenza di:

$$150 - 142 = 8 \text{ volt.}$$

Ma siccome l'aumentare le spire e quindi le amperspire porta un giovamento nell'aumento di forza ci conviene avvolgere sulle bobine, oltre a quelle dateci dal nostro calcolo, altre spire per aumentare la resistenza ohmica e portare la perdita di tensione a 150 volt.

Per trovare quanti metri di filo dobbiamo ancora avvolgere nei due rocchetti ci serviamo della formola

$$R = \frac{V}{i}$$

dove V rappresenta la differenza tra le due tensioni:

$$150 - 142 = 8$$

ed i l'intensità della corrente:

$$\frac{8 \text{ volt}}{2{,}3 \text{ ampère}} = 3{,}5 \text{ ohm.}$$

Ed avendo il filo la resistenza di 0,022 ohm per metro avremo la lunghezza del filo da aggiungere dividendo

$$\frac{3{,}5}{0{,}022} = 160 \text{ metri}$$

e cioè:

$$\frac{160}{2} = 80 \text{ metri per bobina}$$

Se vogliamo sapere quante spire dobbiamo ancora avvolgere sul rocchetto per esaurire gli 80 metri, continueremo il conteggio, al punto lasciato nel 19° strato ed abbiamo:

$$20° \text{ strato } 9060 + 120 = 9180.$$

Dunque aggiungendo il 20° strato di spire abbiamo aggiunto m. 91,80.

La potenza assorbita dalle due bobine è:

$$150 \times 2{,}3 = 345 \text{ watt.}$$

Ora dobbiamo controllare se con le misure assegnate nel disegno (fig. 40) vi è lo spazio sufficiente per avvolgere 20 strati di filo su ogni rocchetto.

Essendo il diametro del filo coperto di mm. 1,5 avremo:

$$20 \times 1{,}5 = 3 \text{ cm.}$$

quindi come si vede nella figura 40 abbiamo spazio abbondante.

Esempio 23.

Vogliamo costruire una elettrocalamita che possa attirare un'armatura posta ad un cm. di distanza con la forza di 5 kg. La corrente di eccitazione è in serie con un circuito a corrente alternata per cui passa una intensità efficace di 50 ampère.

Data la piccola forza di attrazione conviene fissare noi le dimensioni del nucleo in rapporto alle possibilità di costruzione (per non avere una piccola sezione che si avreb-

be facendo assumere a B un alto valore). E fissiamo il nucleo di ferro lamellato in cm. 3 × 3 la cui sezione è di 9 cm.^{2}. Allora

$$B = 5000 \times \sqrt{\frac{5}{9}} = 1100.$$

Dovendo avvolgere un filo di diametro obbligato avendo l'intensità i assegnata (50 ampère) dobbiamo assegnare una conveniente lunghezza al nucleo.

Con la densità di circa 3 ampère per mmq. per far passare 50 ampère dobbiamo adoperare un filo della sezione di 17 mmq. corrispondente al diametro di mm. 4,7 che con la copertura diventerà di mm. 5,5.

Facciamo perciò il nucleo di 4,5 cm. di lunghezza. Troviamo ora le amperspire efficaci (N × i) eff.

Dalla tabella 5 troviamo che per B = 1000 nel ferro lamellato a = 0,15 e nell'aria a = 800 avendo noi un valore un po' più alto di B, metteremo a = 0,20 ed a = 900.

Le amperspire efficaci ci sono date da:

$$\frac{(4{,}5 \times 0{,}20) + (1 \times 900)}{1{,}41} = 700$$

Dovendo far circolare nel filo 50 ampère abbiamo:

$$\frac{700}{50} = 14 \text{ spire.}$$

Quindi sul rocchetto dobbiamo avvolgere 14 spire.
Possiamo avvolgerle in due strati di 7 spire caduno.
La lunghezza interna del rocchetto deve essere

$$7 \times 5{,}5 = 38.5 \text{ mm.}$$

Avendo il nucleo di 3 cm. di lato il rocchetto sarà di 3,5 cm.

Sul primo strato avvolgeremo

$$7 \times 4 \times 3{,}5 = 98 \text{ cm.}$$

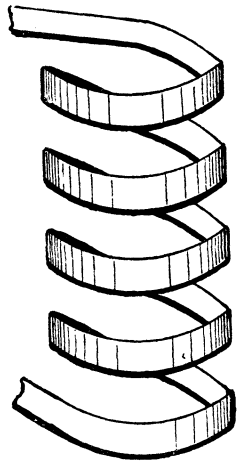


Fig. 41.

Sul secondo strato avvolgeremo

$$7 \times 4 \times (35, + 0{,}55) = 113 \text{ cm.}$$

In totale m. 0,98 + 1,13 = 2,11 metri.

Questa lunghezza di filo produce una resistenza ohmica piccolissima

$$2{,}11 \times 0{,}00136 = 0{,}0028 \text{ ohm.}$$

Pure l'impedenza sarà piccolissima, date le poche spire e la piccolezza del nucleo.

Esempio 24.

Calcolare il campo magnetico Φ *di un solenoide formato da* 5 *spire di sbarra di rame di mm.* 8 × 50 *avvolta — (fig.* 41*) sopra un diametro di* 10 *cm. — quando per detta sbarra passa una corrente continua di* 1200 *ampère.*

Valore delle amperspire:

$$N \times i = 5 \times 1200 = 6000.$$

Supponendo di lasciare 2 cm. di spazio tra una spira e la successiva, la lunghezza del solenoide risulterà di 33 cm. e quindi

$$H = \frac{1{,}25 \times 6000}{33} = 227 \text{ linee per cmq.}$$

e quindi:

$$\Phi = 227 \times 10 = 2270.$$

Esempio 25.

Costruire una elettrocalamita alimentata da corrente alternata trifase a 260 *volt con tre nuclei i quali abbiano la forza di attirare un'armatura posta alla distanza dai poli di* 5 *mm. con la forza di* 9 *kg. (fig.* 42*) con immissione istantanea di corrente. Frequenza* 50 *periodi.*

Agendo contemporaneamente sull'armatura le tre bobine ciascuna dovrà essere calcolata per una forza

$$F = \frac{9}{3} = 3 \text{ kg.}$$

Nuclei tondi di ferro fucinato del diametro di 1 cm. sezione cm.^{2} 0,78.

Lunghezza dei nuclei cm. 4.

Lunghezza dei circuiti magnetici 36 cm.

$$B = 5000 \times \sqrt{\frac{3}{0,78}} = 10.000.$$

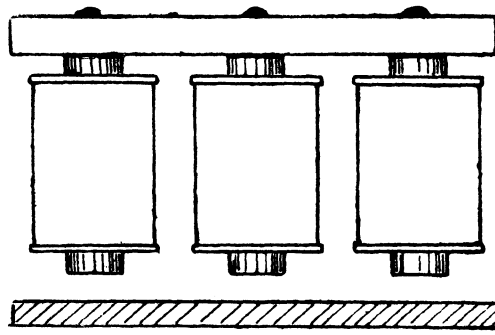


Fig. 42.

Amperspire per nucleo (tabella 5):

$a = 5$

$a = 7200$

interferro 0,5

$$\text{Amperspire} = \frac{(36 \times 5) + (0,5 \times 7200)}{1,41} = 1270$$

Dobbiamo ora calcolare il numero delle spire in funzione della tensione della corrente di alimentazione.

Dovendo alimentare le tre bobine con corrente trifase a 260 volt noi disporremo gli avvolgimenti a stella come indica la figura 43.

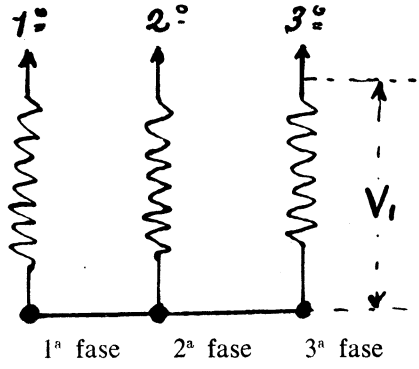


Fig. 43.

Com'è noto, con questo schema tra ogni bobina sarà applicata una tensione V, data da

$$V' = 0{,}577 \times V$$

essendo V la tensione tra due fasi, cioè 206 volt nel caso nostro:

$$0{,}577 \times 260 = 150 \text{ volt.}$$

Dalla formula

$$N = \frac{100000000 \times e}{4{,}44 \times f \times \Phi}$$

troviamo le spire di ciascuna delle tre bobine

$$N = \frac{1100000000 \times 150}{4{,}44 \times 50 \times 10.000} = 12500$$

$$\frac{\text{Amperspire } 1270}{\text{spire } 12500} = \text{ampère } 0{,}1$$

Esempio 26.

Calcoliamo una elettrocalamita della forma della figura 40 con i seguenti dati:

Corrente di eccitazione alternata:

volt = 260
f = 50
F = 200 Kg. (100 per polo)
B = 5000
a = 0,90 (Tabella N. 5)
a_1 = 4000 id.
δ = 5 cm. (per due poli 10 cm).
l = 60 cm.

Dalla formola $\left(S = \frac{F \times 5000^2}{B^2}\right)$

$$S = \frac{100 \times 25.000.000}{25.000.000} = 100 \text{ cm.}^2.$$

Quindi sezione del nucleo fatto con lamiere di ferro sagomate di un sol pezzo cm. 10 × 10.

Dalla formola $\Phi = B \times S$.

Flusso $\Phi = 5000 \times 100 = 500.000$.

$$\text{Amperspire} = \frac{(60 \times 0{,}90) + (10 \times 4000)}{1{,}41} = 28.000.$$

Prendiamo una perdita di tensione nel rame e nel ferro di 10 volt quindi calcoliamo N con una f.e.m. d'induzione di 260 — 10 = 250 volt.

Dalla formola

$$N = \frac{e \times 100000000}{4{,}44 \times \Phi \times f}$$

abbiamo

$$N = \frac{250 \times 100000000}{4{,}44 \times 500.000 \times 50} = 230$$

La corrente di magnetizzazione ci sarà data da

$$i = \frac{28.000}{230} = 120 \text{ ampère.}$$

31. - Elettrocalamite succhianti diritte e corazzate.

Le elettrocalamite succhianti sono quelle che attirano nel loro interno un nucleo di ferro C che generalmente è quello che ha poi la funzione di trasmettere il comando a qualche organo.

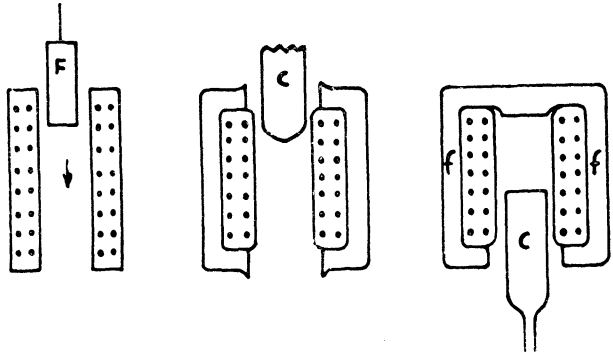
Basta pensare alle leggi generali del magnetismo per comprendere subito la inferiorità della calamita diritta. In-

fatti il traferro è enorme anzichè rappresentare una piccolissima frazione del circuito totale. Esso ha una lunghezza molto superiore a quella del nucleo stesso, poichè il flusso deve percorrere nell'aria il lunghissimo tragitto determinato delle linee di forza che escono dal polo Nord per ritornare al polo Sud.

Per migliorare notevolmente il circuito magnetico e ridurre la riluttanza si può offrire al flusso una via più adatta che può essere formata da un rivestimento esterno in ferro f. f. come nelle figure.

In questo modo quasi tutto il percorso del flusso avviene sul ferro e quindi, a parità di ampère-spire, il risultato è migliore.

Un'elettrocalamita di questo tipo dicesi corazzata o blindata.



Figg. 44, 45, 46 - Elettrocalamite a nucleo succhiato.

Vi è però da rilevare che, affinchè il nucleo C possa venir attratto energicamente, è necessario che sin dall'inizio si trovi impegnato, almeno con la punta, entro al foro della copertura *ff*.

Le elettrocalamite corazzate agenti per succhiamento si usano specialmente per chiudere un circuito assicurando nello stesso tempo un'energica pressione di contatto.

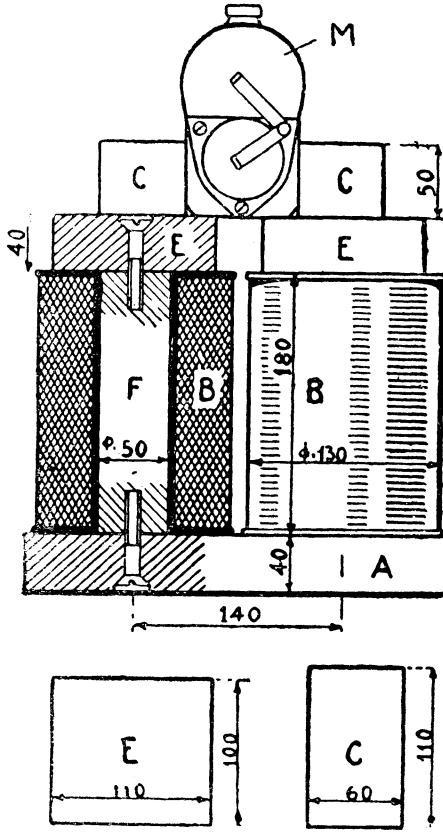


Fig. 47.

Sono apparecchi sicuri sotto ogni rapporto, robusti, poco soggetti a guasti e si usano per azionare scambi ferroviari, per il frenamento elettromagnetico delle gru, per il comando a distanza dei motori, ecc.

32. - Elettrocalamita per ricalamitare i magneti d'automobile.

Si compone di due nuclei magnetici sui quali sono avvolte le bobine magnetizzanti: ogni bobina è formata da 200 spire di filo di rame da 1 mm. di diametro con buon isolamento, smalto e cotone. Le bobine sono collegate in serie. L'apparecchio è munito di interruttore a coltelli e valvole di protezione: viene azionato a 120 volt in corrente continua ed assorbe 5 ampère. Nella figura vediamo in C due blocchetti di ferro dolce da accostarsi al magnete, in E le espansioni polari in ferro dolce, in A il basamento ed in M il magnete da calamitare. Tutte le quote sono indicate in figura 47.

33. - Elettrocalamite per dilettanti.

Il dilettante ha sovente bisogno di improvvisare delle elettrocalamite e non sempre ha la voglia o la capacità di sobbarcarsi il necessario calcolo. Per aiutarli nei casi più comuni presentiamo la seguente tabella con i dati di alcune elettrocalamite a 120 volt che è la tensione più usata in pratica per le esperienze.

TABELLA N. 12.

Forza della calamita	Avvolgimento		Filo	Superficie del nucleo in cm^2	Diametro del nucleo in mm.
	Spire N.	Intensità Ampère			
5 Kg	1200 900	1/4 1/3	20/100	1,3	18
10 Kg	1200 800	1/3 1/2	28/100	2,6	24
25 Kg	1600	1/2	50/200	6,25	28
50 Kg	1500	1	70/100	13	41

34. - Esempi di forme d'esecuzione.

Le figure 48 e 49 rappresentano due tavole di disegni schematici di alcune forme caratteristiche delle elettrocalamite per le differenti applicazioni.

FORME PIU COMUNI DELLE ELETTROCALAMITE

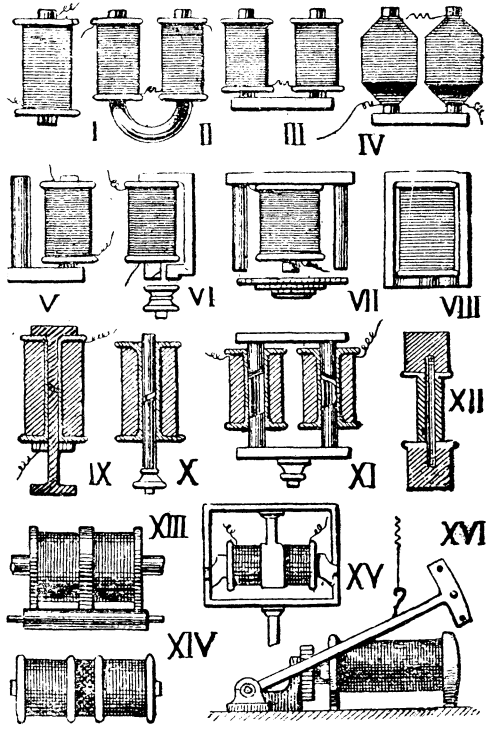


Fig. 48.

I. Elettrocalamita a sbarra. - II. A ferro di cavallo. - III. A giogo. - IV, Senza flangie. - V e VI. Con un solo avvolgimento. - VII. A poli conseguenti. - VIII. Tubolare. -IX, X, XI e XII. Solenoidi. - XIII e XIV. Con due avvolgimenti e nuclei separati da intervallo. - XV. Ad armatura angolare. - XVI. Ad effetto tangenziale.

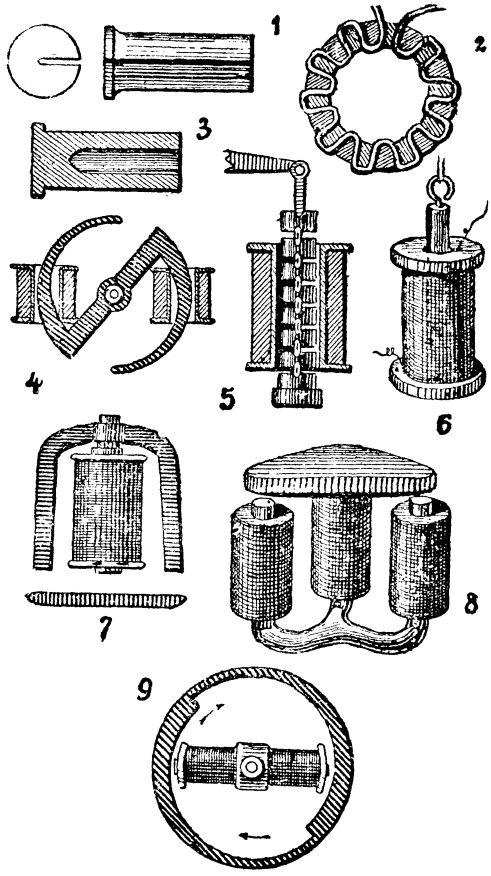


Fig. 49.

1. A nucleo tagliato. - 2. Circolare a nuclei separati montati sulla stessa carcassa con poli alternati. - 3. A nucleo vuoto. - 4. Con nuclei succhianti eccentrici. - 5. Ad amplificatore. - 6. A nucleo succhiante cilindrico. - 7. A doppio nucleo nudo. - 8. A tre poli. - 9. Con dispositivo ad avvicinamento variabile rispetto ad una massa di ferro.

FINE

Casa Editrice G. LAVAGNOLO

Corso Vittorio Emanuele, 123 - TORINO

ALCUNE EDIZIONI:

P. Bartoli - *Manuale pratico del capo elettricista* - 3ª ediz.
Ing. M. Bertolini - *Il motore a corrente alternata* - 2ª ediz.
Ing. L. Bonacossa - *Il montatore elettromeccanico - Vol. I: Corr. continua.*
Ing. L. Bonacossa - *Il montatore elettromeccanico - Vol. II: esaurito.*
Ing. L. Bonacossa - *Gli accumulatori elettrici* - 5ª ediz.
V. Boccadelli - *Il libro dei conti fatti per l'operaio elettricista*
Ing. C. Brignone - *I frigoriferi elettrici automatici* - 2ª ediz.
G. Cardinali - *I contatori elettrici* - 2ª ediz.
Ing. G. Chierchia - *Gli apparecchi elettrici di riscaldamento* - 8ª ed.
Ing. G. Chierchia - *Le macchine elettriche a corrente alternata* - 5ª edizione.
Ing. G. Depero - *I raddrizzatori di corrente* - 4ª ediz.
D. Gambino - *Misure elettriche industriali* - 3ª ediz.
Ing. G. E. Gasquy - *L'elettricità* - 2ª ediz.
G. Gianni - *Chi tocca i fili muore!*
Prof. T. Guarnieri - *Gli impianti di parafulmini* - 2ª ediz.
Ing. M. Lanfranconi - *Le frodi nei contatori elettrici* - 5ª ediz.
Ing. M. Lanfranconi - *Le nuove frodi nei contatori elettrici*
P. G. Lanino - *La risoluz. pratica dei problemi di elettrotecnica* 2ª edizione.
P. G. Lanino - *Calcolo e costruzione dei trasformatori* - 3ª ediz.
P. G. Lanino - *Misure, prove e collaudi sulle macchine elettr.* - 2ª ediz.
E. Lavagnolo - *L'impianto elettrico della casa* - 11ª ediz. aggiornata.
E. Lavagnolo - *Impianti di suonerie elettriche* - 6ª ediz.
Dott. Ang. Ulivo - *Le luci nuove (Fluorescenza, Néon, ecc.)* - 3ª ediz. agg.
Ing. P. Magnoni - *L'elettricista moderno* - 208 pag. in 8° - 150 fig.
C. Mazzei - *Prontuario del tecnico elettricista* - 7ª ediz.
Ing. E. Marenco - *Come si diventa elettricisti* - 13ª ediz.
Ing. M. Muller - *Il riparatore di macchine elettriche*
L. Nola - V. Lago - *La saldatura elettrica* - 168 pag in 8° - 228 fig.
G. Pellicciardi - *Le piccole macchine elettriche (calcolo e costruz.).*
Ing. G. Rippo - *Il memorandum dell'elettricista* - 16ª ediz.

Ing. P. Rossi - *Costruzione degli avvolgimenti delle macchine elettriche.*
Ing. F. Torre - *Come si migliora il fattore di potenza* - 2ª ediz.
Ing. P. Uccello - *La cellula fotoelettrica* - 3ª ediz.
Ing. E. Bonacossa - *La costruzione dei rocchetti di Ruhmkorff* - 4ª edizione.
O. Franchetti - *L'eletricista dilettante* - 7ª ediz
O. Farnchetti - *Il giovane elettricista* - 6ª ediz.
O. Franchetti - *Il meccanico dilettante* - 5ª ediz.
R. G. E. -*Costruzioni elettriche per dilettanti* - 9ª ediz.
Prof. P. Porretti - *Dilettevoli esperienze* - 5ª ediz.
G. Bagetti - *Come rilegare i miei libri* - 2ª ediz.
Dott. Ang. Ulivo - *L'Elettrauto* - 4ª ediz. aggiornata.
M. Gatti - *L'accensione nei motori a scoppio* - 4ª ediz. aggiornata.
R. Marré - *Il fotografo principiante.*
R. Marré - *Il laboratorio fotografico.*
E. Flores - *Il regolo calcolatore alla portata di tutti.*
E. Angelini - *L'apprendista orologiaio* - 4ª ediz.
Prof. T. Guarnieri - *Come si diventa telegrafisti.*
Ing. H. S. G. - *Gli impianti di nichelatura, cromatura, cadmiatura* - 3ª edizione.
T. Turco - *Tutti i sistemi di doratura.*
Dott. G. Giosa - *La verniciatura a spruzzo* - 2ª ediz.
G. Gabri - *I gas di petrolio liquidi.*
T. De Francesco - *La fabbricazione dei fuochi artificiali.*
C. Tenca - *La fabbricazione dei timbri in gomma.*
Ing. L. Solari - 1300 *Ricette utili per la casa.*
G. Camussi - *La lavorazione della gomma.*
G. Salomone - *La distillazione dell'acquavite e dell'alcool.*
G. Salomone - *La distillazione delle erbe e fiori da essenze.*
Ing. H. S. G. - *Gli impianti di riscaldamento a termosifone.*
G. Miozzi - *Gli impianti di scaldabagni.*
ecc., ecc.

Il Catalogo Generale delle Edizioni Tecniche G. LAVAGNOLO (64 pagine) *contiene le indicazioni delle materie trattate nei* 250 *recentissimi volumi, il listino prezzi ed il modulo postale per l'invio più economico delle ordinazioni e del relativo importo.*

Per riceverlo basta inviare L. 25 *in francobolli alla.*

CASA EDTRICE G. LAVAGNOLO
Corso Vittorio Emanuele, 123 - TORINO

G. LAVAGNOLO
Casa Editrice dei Mestieri e Professioni,
delle Industrie e Scienze
Corso Vittorio Emanuele, 123 - TORINO

PREZZO NETTO
L. 500

G. RIPPO :: Calcolo e Costruzione delle ELETTROCALAMITE